

# Sähkön hinnan suojaus pohjoismaisilla sähkömarkkinoilla

TAMPEREEN YLIOPISTO  
Johtamiskorkeakoulu  
Pro Gradu - tutkielma  
Tammikuu 2015  
Petri Luolahti (91539)

## Tiivistelmä

<b>Tampereen yliopisto</b>	Johtamiskorkeakoulu, Taloustieteen koulutusohjelma
<b>Tekijä:</b>	Petri Luolahti
<b>Tutkielman nimi:</b>	Sähkön hinnan suojaus pohjoismaisilla sähkömarkkinoilla
<b>Pro gradu -tutkielma:</b>	65 sivua
<b>Aika:</b>	Tammikuu 2015
<b>Avainsanat:</b>	sähkömarkkina, sähköfutuuri, riskienhallinta, riskipreemio

---

Työn tarkoituksena oli perehtyä pohjoismaisilla sähkömarkkinoilla toimivien markkinaosapuolien riskienhallinnan menetelmiin ja erityisesti suojaustarkoituksiin käytettävien markkinainstrumenttien käyttöön sähkön hinnan suojauksessa.

Aluksi työssä käydään läpi sähkömarkkinoiden erikoisuudesta johtuvaa suurta hintavaihtelua ja sen mukanaan tuomaa tarvetta riskienhallinnan menetelmien soveltamiselle. Työ jatkuu perehtymällä pohjoismaisten sähkömarkkinoiden rakenteeseen ja toiminnallisuuteen. Sitten perehdytään markkinoilla tarjolla oleviin riskienhallinnan välineisiin, sovelluksiin, hinnoitteluun ja kustannuksiin.

Työn empiirisessä osiossa testataan esiintyykö pohjoismaisilla sähkömarkkinoilla tilastollisesti merkitsevää riskipreemiota, sen kokoluokkaa ja pyritään tarkastelemaan sähkön myyjien ja ostajien suhtautumista hintariskiin. Tulokset osoittavat että sähkömarkkinoilla esiintyy erittäin merkitseviä riskipreemioita ja suojauskustannukset vaihtelevat ainakin suojausaikaperiodista sekä vuodenajasta riippuen. Lisäksi tulokset osoittavat että sähkön kuluttajat ovat enemmän riskinkaihtajia kuin sen tuottajat.

Lisäksi pyritään mallintamaan sähkön hintaan ja riskipreemioihin vaikuttavia tekijöitä. Sähkön hinnan mallinnuksen tulokset tukevat perinteisen kysynnän ja tarjonnan tasapainon mukaisia odotuksia. Tuotantoon käytettyjen varantojen varastotasojen muutokset vaikuttavat hintaan käänteisesti korreloiden, kun taas muutokset kysynnässä ja tuotantoon käytetyn raaka-aineen hinnassa ovat hinnan suhteen positiivisesti korreloituneet. Riskipreemioihin vaikuttavien tekijöiden mallinnuksessa ajaututtiin erilaisiin tilastollisiin ongelmiin, joita ei pystytty poistamaan, eikä saatuja tuloksia voida pitää luotettavina.

## Sisällysluettelo:

1	Johdanto.....	1
2	Suojaus osana riskienhallintaa.....	2
3	Sähkömarkkina .....	5
3.1	Sähkön markkinapaikat .....	7
3.2	Pohjoismainen sähkömarkkina.....	8
4	Sähköjohdannaisia .....	13
4.1	Optiosopimus.....	14
4.2	Forward- ja futuurisopimus .....	17
4.3	Muita johdannaistuotteita .....	19
5	Suojauksen sovelluksia.....	20
5.1	Suojaus yksittäisillä johdannaisilla .....	21
5.2	Suojaus useamman johdannaisen strategialla.....	22
5.3	Staattinen ja dynaaminen suojaus?.....	24
5.4	Muita suojausstrategioita.....	26
6	Yleisimpien sähköjohdannaisten hinnoittelu ja suojauskustannus .....	27
6.1	Optio-hinnoittelu .....	28
6.2	Futuuri-hinnoittelu, Convenience-Yield ja Riskipreemio .....	30
6.3	Suojauksen kustannus.....	35
7	Empiirinen mallinnus.....	36
7.1	Käytetty aineisto.....	36
7.2	Riskipreemio olemassaolo.....	43

7.2.1	Tutkimustulokset.....	44
7.2.2	Päätelmät.....	48
7.2.3	Vertailua aikaisempaan tutkimukseen .....	49
7.3	Regressioanalyysi spot-hinnalle .....	51
7.3.1	Sähkön spot-hinnan selittäjien valinta .....	53
7.3.2	Sähkön spot-hinnan regressioyhtälö .....	55
7.3.3	Tutkimustulokset ja päätelmät .....	57
7.4	Regressioanalyysi riskipreemioille.....	58
7.4.1	Vertailua aikaisempaan tutkimukseen .....	60
7.5	OLS-kritiikkiä .....	60
8	Yhteenveto.....	61
9	Lähteet .....	63

# 1 Johdanto

Sähköllä on monia rakenteellisia erityispiirteitä, joista johtuen sen hinnanmuodostus vapailla markkinoilla käyttäytyy poikkeavasti moniin muihin raaka-aineisiin verrattuna. Tämä johtaa edelleen tilanteeseen, jossa sähkön hintavaihtelut ovat rajuja ja vielä ennalta-arvaamattomampia kuin muiden raaka-aineiden tai perinteisten rahoitusinstrumenttien, kuten osakkeiden, valuuttojen ja korkojen hintavaihtelut (Deng & Oren 2006). Sähkön erityispiirteitä ovat mm. taloudellisesti kannattamaton varastointimahdollisuus, epävarma ja joustamaton kysyntä ja siitä johtuva kysyntätarjontasuhteen epätasapaino sekä kiinteä jakeluverkosto. Poikkeukselliset tapahtumat kuten luonnonkatastrofit, poliittinen epävarmuus ja yritysten tahalliset tai tahattomat rikkeet toiminnassaan ovat omiaan aiheuttamaan heilahteluja energiamarkkinoilla yleensä ja sitä myöten myös sähkömarkkinoilla. Energiajohdannais-ten lisääntynyt kaupankäynti ja monimutkaisuus, sekä elektronisten kaupankäyntijärjestelmien yleistyminen ovat tehneet energiamarkkinoista houkuttelevat pelikentän rahoituspelureille (speculation), joka myös lisää hintaheilahteluja (Simkins & Simkins cop. 2013).

Valtavasta volatiliteetista johtuen, sähkön hinnasta riippuvaisten yritysten tuleekin varautua hintaheilahtuksiin huolella tai pahimmassa tapauksessa ne voivat johtaa tilanteeseen, jossa koko yrityksen olemassaolo on vaarassa. Esimerkkejä tällaisista tilanteista on useita. Yhdysvaltojen keskilännessä, kesällä 1998, sähkön tukkuhinnat nousivat räjähdysnomaisesti normaalista 30 – 60 dollarin hinnasta aina 7000 dollariin megawattitunnilta. Tämä aiheutti mm. kahden suuren itärannikolla toimivan energiayhtiön ajautumisen maksuvaikeuksiin. Helmikuussa 2004, kolme päivää kestänyt jäämyrsky ja siitä johtuva korkealla pysynyt sähkön hinta, johti Texasissa toimineen energian vähittäismyyjäyri-tyksen konkurssiin (Deng & Oren 2006). Pohjoismaisilla sähkömarkkinoilla sähkön normaalihinta on talvikuukausia ollut 60 - 70 euron välillä megawattitunnilta. Talvella 2010 Ruotsin ydinvoima-loissa oli seisokkeja huoltotöiden vuoksi ja samanaikaisesti lämpötila laski alle 20 pakkasasteeseen. NordPool-markkinoilla saavutettiin kaikkien aikojen ennätys sähkön hinnassa, 1400 euroa megawat-titunnilta. Etenkin hintariskiін suojautumiselle on siis ilmeisesti tarvetta.

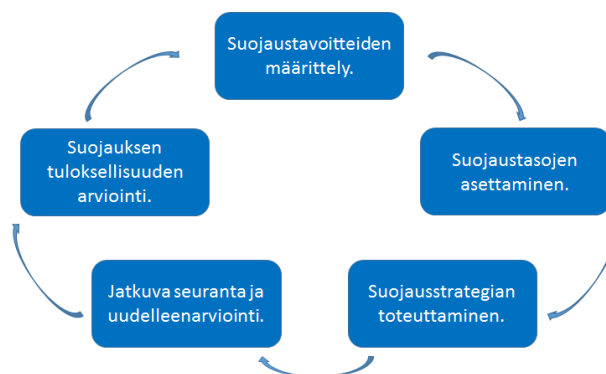
Sähkön tuotannossa yritysten riskienhallinta keskittyy pääsääntöisesti tuotantolaitosten ja siirtover-kostojen pitkävaikutteisten investointien suunnitteluun ja arvostukseen sekä sähkön ulosmyyntihin-nan varmistamiseen. Kysyntäpuolella mielenkiinnon pääkohteena on sisäänostohinnan tasaisuuden lisäksi sähkön määrällinen riittävyys kaikissa olosuhteissa (Deng & Oren 2006).

Tässä työssä keskitytään sähkön kaupankäynnissä, pääsääntöisesti sähköpörssissä ja OTC-markkinoilla käytettyihin lyhyen ja keskipitkän ajanjakson riskienhallinnan välineisiin. Pitkävaikutteisia, sähkön tuotantolaitosten ja siirtoverkkojen investointi-, kannattavuus- ja arvostuslaskelmia sekä niihin liittyvää riskienhallintaa tai suojausta ei käsitellä. Läpi työn, sähkön myyjällä tarkoitetaan sen tuottajaa tai myyjää ja kuluttajalla suuria sähkön kuluttajia kuten metalli- ja metsäyhtiöitä. Kuluttajalla ei missään kohdassa viitata kotitalouksiin tai muihin pienkuluttajiin.

## 2 Suojaus osana riskienhallintaa

Tilastotieteessä riski määritellään yleisimmin keskihajontana, jollakin todennäköisyydellä tapahtuvana poikkeamana odotetusta arvosta. Tämä riippumatta siitä, onko tuo poikkeama negatiiviseen vai positiiviseen suuntaan. Rahoitusmarkkinoilla riskin mittarina on totuttu käyttämään vuosittaista tuottojen keskihajontaa, volatiliteettia. Jos volatiliteetti lasketaan menneestä aineistosta, on kyseessä historiallinen volatiliteetti. Kyseisellä tarkasteluhetkellä, etenkin johdannaismarkkinoilla käytössä oleva, implisiittinen volatiliteetti voidaan johtaa Black-Scholes-Merton-mallista.

Riskienhallinnalla tarkoitetaan kokonaisvaltaista, systemaattista ja jatkuvaa riskiarviointia, jonka toimenpiteiden seurauksena riskiä pyritään poistamaan, pienentämään, siihen varautumaan tai minimisään ainakin ymmärtämään epäsuotuisan toteuman tapahtuessa sen vaikutuksen laajuus ja vakavuus. Enterprise-Risk-Management (ERM) on yrityksen kannalta kaikkien nähtävissä olevien riskien ja epävarmuuksien hallintaa joka useimmiten toteutetaan jatkuvana prosessina. Siinä suojauksen viisi pääkohtaa ovat suojaustavoitteiden määrittely, suojaustasojen asettaminen, suojausstrategian toteuttaminen, jatkuva seuranta ja uudelleenarviointi sekä tuloksellisuuden arviointi (Simkins & Simkins cop. 2013) (Kuvio 1).



Kuvio 1: Suojaus prosessi

Lähde: Energy Finance.

Yrityksen kannalta katsottaessa, riskienhallinta voidaan nähdä osana yrityksen arvon maksimoimista. Lisäarvoa saavutetaan vähentämällä yrityksen todennäköisyyttä ajautua vaikeuksiin ja sen mukanaan tuomiin lisäkustannuksiin. Hyvä riskienhallinta tuottaa yritykseen lisäarvoa mm. mahdollistamalla alemmat pääomakustannukset, sallimalla suuremman velanoton ja optimaaliset investoinnit. Lisäksi sillä voidaan tasoittaa verotettavan tuloksen ja siitä aiheutuvien veroseuraamusten vaihtelua. Riskienhallinnan tarkoituksena on muodostaa lyhyen, keskipitkän ja pitkän ajan näkemyksiä ja niihin perustuvia strategioita ja näin tukea yrityksen päätöksentekoprosesseja ja muita toimintoja (Deng & Oren 2006).

Suojaus on yksi riskienhallinnan merkittävä muoto. Nykyään vahvasti kilpailullisten, mutta erittäin volatiilien sähkömarkkinoiden osapuolet, pyrkivät tasaamaan ja varmistamaan kustannuksiaan ja tulovirtojaan erilaisilla suojaus- ja sopimuskäytännöillä sekä aktiivisella toiminnalla sähkön kauppapaikoilla. Sähkömarkkinoilla sähkön tuottajat pyrkivät suojaamaan tuotantonsa sekä käyttökatojen että sähkön hinnan laskun varalta (Simkins & Simkins cop. 2013). Vaikka suunnittelemattomat käyttökätkokset ovat tuottajille merkittävä haaste ja näiltä suojautumiseen on kehitetty joitakin strukturoiduista tuotteista, enimmäkseen käyttökätköksiin suojautuminen toteutetaan vakuutusyhtiöiden tuotantolaitoksille tarjoamalla vakuutuksilla (Eydeland 2008). Sen sijaan hintariskien suojaamiseen, sekä tuottajan että kuluttajan tarkoituksiin, sähkömarkkinoilla on paljon vaihtoehtoja. Lisäksi kuluttajat haluavat varmistaa saamansa sähkön riittävyyden volyymisuojauksella. Tärkeä muistettava yksityiskohta on, että suojauksella ei ole tarkoitus tehdä voittoa (speculation) vaan hankkiutua eroon riskeistä joita ei haluta ottaa.

Adam ja Fernando (Adam & Fernando 2006) erottelivat suojauksen kahteen osaan. Ennakoiva suojaus (predictive hedging) perustuu yrityksen itsensä toimintaan ja sen perustekijöihin ja selektiivinen suojaus (selective hedging) perustuu hintoihin ja markkinoiden liikkeisiin eli spekulointiin riskienhallinnan asettamien rajojen puitteissa. Tutkimuksessaan he löysivät ennakoivan suojauksen tuottavan positiivista tuottoa, kun taas valikoivan suojauksen tuotot olivat nollan tuntumassa ja niiden vaihtelu oli suurta. Tämä oli linjassa tutkimuksen (Stulz 1996) kanssa, joka osoitti että ainoastaan reaalkulujen suojaus toi yrityksille lisäarvoa, kun taas spekulatiivinen kaupankäynti vähensi sitä. Epäselvä tai liian löysästi määritelty suojauspolitiikka saattaa johtaa yrityksissä spekulatiiviseen, selektiiviseen ”suojaukseen”, joka ei siis ole todellisen suojauksen tarkoitus ja voi pahimmassa tapauksessa ajaa yrityksen vararikkoon tai ainakin sen partaalle.

Suojauksesta saatavan lisäarvon arvioiminen riippuu suojauksen tavoitteista. Eräässä tutkimuksessa (Sanda ym. 2013) 12 norjalaisesta vesivoimayhtiöstä neljä ilmoittivat suojauspolitiikkansa päätavoitteeksi suojaussalkun arvon maksimoimisen, joka on enemmän markkinaspekulointia kuin suojausta. Toiset neljä ilmoittivat tavoitteekseen kassavirran vaihtelun vähentämisen ja loput neljä hyväksyttävän tulotason varmistamisen, säilyttäen kuitenkin markkinoiden nousupotentiaalin. Tutkimuksessa löytyi paljon todisteita yritysten käyttämästä valikoivasta suojauksesta, jonka periaatteita oli sisällytetty kirjallisesti suojauspolitiikkaan ja joita perusteltiin yrityksen markkinaosaamisella ja käytettävissä olevalla riskipääomalla. Suurin osa yrityksistä ansaitsi huomattavia osuuksia tuloksestaan suojaustransaktioiden avulla, vaikka ne eivät onnistuneetkaan vähentämään kassavirran volatiliteettia. Korostunut riskinottohalukkuus ja korkean basis-riskin<sup>1</sup> jaksot olivat mahdollisesti syitä, miksi kassavirran volatiliteettia ei onnistuttu vähentämään. Tulokset osoittavat, että tutkitut yritykset käyttävät ”suojausta” enemmän spekulatiiviseen voiton maksimoimiseen kuin kassavirtojen ennustettavuuden lisäämiseen (Sanda ym. 2013).

Sähkön myyntihinnan lukitseminen suojaamalla on tarkoituksenmukaista kun tiedetään varmasti, että jollain ajanhetkellä tulevaisuudessa tullaan myymään tai ostamaan sähköä. Näin yritys voi keskittyä perusliiketoimintaansa eikä sen tarvitse uhrata voimavaroja markkinamuutosten kontrollointiin (Hull cop. 2009). Suojausstrategioita käytettäessä tulee täysin ymmärtää suojattavat riskit ja erilaisten strategioiden vaikutus niihin sekä niistä aiheutuvat välilliset vaikutukset. Esimerkiksi hintariski voidaan suojata mm. lukitsemalla tulevaisuuden hintataso, oli sitten kyse sähkön ostosta tai myynnistä. Mutta hinnan lukitseminen tarkoittaa käänteisesti sitä, että markkinahinnan muuttuessa suotuisaan suuntaan, tästä saatava hyöty menetetään. Yksikään suojausstrategia ei ole täydellinen, joten erilaisilla vaihtoehtoanalyyseillä tulee varautua yllättäviin tilanteisiin. Lisäksi kommunikointi ylemmälle johdolle eri toteutumavaihtoehdoista on erityisen tärkeää (Simkins & Simkins cop. 2013). Viimeinen korostuu etenkin tilanteessa, jossa suojaamalla lukittu hinta osoittautuukin jälkeinpäin markkinahintaa epäedullisemmaksi. Lisäksi tulee ymmärtää myös strategian, markkinariskin, likviditeettiriskin ja basis-riskin<sup>1</sup> keskinäiset riippuvuudet.

Suojauskäytäntöjä vastaan on esitetty myös kritiikkiä. Esimerkiksi vuonna 2001 Proter & Gamble:n yhteiskuntasuhteista vastaava johtaja Scott Miller kritisoi suojauksen vaikeutta: ”...we don't do a lot of hedging because, if we were smart enough to hedge, there is actually more money to be made in

---

<sup>1</sup> Basis is usually defined as the spot price minus the futures price. Basis risk arises because of the uncertainty about the basis when the hedge is closed out (Hull 2012).



that than there is in selling soap” (Wall Street Journal 14.4.2001). Lausuntoon vaikutti varmaankin tosiasia, että yritys teki vuonna 1994 100 M USD:n tappion johdannaismarkkinoilla.

Johdannaismarkkinat mahdollistavat markkinaosapuolten valita riskejä joita ne haluavat itse kantaa ja välttämään niitä, joista halutaan päästä eroon. Molemminpuolinen suojausmahdollisuus on pääsyy, miksi kaupan osapuolet päätyvät johonkin sopimushintaan johdannaismarkkinoilla. Hintasuojaus poistaa tulevaisuuden hintojen spekulatiivisuuden tarpeen ja arvailut niiden ”oikeasta hinnasta” (Eydeland 2008). Sekä sähkön tukku- että vähittäismyyntimarkkinoilla, tämä vaatii kykyä seurata, mitata, arvioida ja kontrolloida markkinariskejä.

### **3 Sähkömarkkina**

Teoreettisen ajatusmallin mukaan yritysten osakkeenomistajat kantavat sijoitusriskin ja asiakkaat hintariskin, kilpailutilanteen ohjatessa kokonaistuotantokapasiteettia kohti tasapainotilannetta. Tällaisessa ihanteellisessa markkinaympäristössä, tuottajat ja kuluttajat voivat vapaasti valita sen riskitason, jonka kukin taho haluaa vapaaehtoisesti kantaa. Tämä idealisoitu näkemys kilpailuun ei sähkömarkkinoilla toimi odotetulla tavalla, johtuen pääsääntöisesti markkinan epätäydellisyyksistä. Aikaisemmin suurin osa sähkön tuotantoon liittyvästä tuotanto- ja jakeluverkostosta on ollut julkisen hallinnon omistuksessa ja sitä myöten hyvin tiukasti säännöstelltyä ja kontrolloitua. Joko julkisessa omistuksessa olevien tai yksityisten sähkölaitosten sallittiin ansaita määritelty voitto-osuus pääomakustannusten päälle. Kun regulaattorit hyväksyisivät uuden sähköntuotantolaitoksen rakennuskustannukset, nämä kustannukset siirrettäisiin kuluttajille, sijoituksen elinkaaren aikana, säännöstelltyjen sähkömarkkinoiden hintojen kautta. Suurin osa tuotantokapasiteetin lisäykseen liittyvistä investointiriskeistä kohdennettiin kuluttajille eikä tuottajille. Kustannuksiin perustuvan hinnoittelumallin myötä epäonnistuneen sijoituksen riski sähkösektorilla oli siis aikaisemmin pitkälti asiakkaiden kannettavana (Eydeland 2008). Sähkön tukkumyyntimarkkinoiden kehittyessä riski alkoikin jakaantua erilaisilla. Sähkömarkkinoiden vapauttaminen onkin useimmissa tapauksissa siirtänyt riskiä kuluttajilta sähkölaitoksille. Muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta, suurin osa sähkömarkkinoista onkin luopunut idealisoidusta markkinamallista ja ne ovat luoneet erilaisia hintakattoihin ja kapasiteettiin perustuvia maksumekanismeja. Tällaisilla markkinoilla riskit jaetaan kuluttajien ja tuottajien kesken, rajoittamalla hinnan volatiliteettia kuluttajille ja samalla varmistamalla investointien kustannusten kattaminen tuottajille (Deng & Oren 2006)

Puhuttaessa uudistetuista sähkömarkkinoista, tarkoitetaan yleensä kaksiosaista siirtymää sähkömarkkinoiden rakenteessa, markkinainfrastruktuurin yksityistämistä ja sääntelyn vaiheittaista purkamista. Ajatuksessa maailmanlaajuisessa siirtymisessä kohti kilpailtuja sähkömarkkinoita perusoletuksena oli, että suurin osa uudelleenjärjestelyn mukanaan tuomasta tehokkuushyödyistä tulisi pitkän tähtäimen sijoituksista tuotantokapasiteettiin. EU:n tavoitteena on kokonaan integroitu eurooppalainen sähkömarkkina, jonka osaltaan odotetaan edistävän markkinoiden likviditeettiä, tehokkuutta ja sosiaalista hyvinvointia (Kuvio 2). Tämän tavoitteen toteuttamiseksi PCR (Price Coupling of Regions) on seitsemän eurooppalaisen sähköpörssin<sup>2</sup> projekti, jonka tarkoituksena on kehittää yhteinen järjestelmä Euroopan laajuiseen sähkön hinnoitteluun ja kansallisvaltioiden rajat ylittävään sähkön siirtokapasiteetin hallintaan. Vuonna 2009 pohjoismainen sähkömarkkina integroitui Saksan, Belgian ja Hollannin markkinoihin, muodostaen näin 11 maan yhteisen markkina-alueen NWE (North-Western-Europe). Helmikuussa 2014 NWE- ja SWE- (South-West-European, Ranska, Portugali, Espanja) alueiden järjestelmät yhdistettiin.



Kuvio 2: Kohti eurooppalaista sähkömarkkinaa

Lähde: marketcoupling.com

---

<sup>2</sup> Initiative of seven Power Exchanges: APX, Belpex, EPEX SPOT, GME, Nord Pool Spot, OMIE and OTE; covering the day-ahead electricity markets in Austria, Belgium, Czech Republic, Denmark, Estonia, Finland, France, Germany, Italy, Latvia (June 2013), Lithuania, Luxembourg, the Netherlands, Norway, Portugal, Spain, Sweden, Switzerland and UK. <http://www.nordpoolspot.com/How-does-it-work/European-Integration/Price-coupling-of-regions/>

### 3.1 Sähkön markkinapaikat

Sähkömarkkinoilla on tyypillisesti kahdenlaisia markkinapaikkoja, yhteenliittymiä ("pool") ja kahdenvälisiä kauppapaikkoja. Yhteenliittymät eli sähköpörssit ovat virallisilla sopimuksilla vahvistettuja markkinapaikkoja, joilla käydään kauppaa siellä vahvistetuilla hinnoilla, esimerkkeinä pohjoismainen sähköpörssi NordPool, EEX (European Energy Exchange, Leipzig) ja NYMEX (New York Mercantile Exchange). Kahdenvälisillä OTC-markkinoilla (Over The Counter), hinnat ja muut ehdot sovitaan kahden osapuolen välillä, muiden markkinatoimijoiden vaikuttamatta näiden kaupankäyntiin (Eydeland 2008) .

Yleisesti käytössä olevan markkinajaottelun mukaan johdannaispörsseissä käydään kauppaa standardoiduilla tuotteilla ja OTC-markkinoilla standardoimattomilla. OTC-markkina on kuitenkin kahdenvälinen bi-lateraali kauppapaikka, joten mikään ei estä kahta osapuolta käymästä siellä kauppaa keskenään myös standardoiduilla tuotteilla. Aikaisemmin OTC-markkinana pidettiin myös tilannetta jossa kaksi osapuolta sopi kaupoista keskenään, ilman minkäänlaista välittäjäosapuolta. Vuoden 2007 – 2009 finanssikriisin seurauksena vaatimukset ulkopuolisen selvittäjän (clearing house) roolista ovat lisääntyneet ja ovat osittain jo käytössä (Hull cop. 2009) . Käytännössä OTC-markkinat ovat hyvin lähellä johdannaispörssijä ja pörssissä toimivat clearing-house:t toimivat kahdenvälisen OTC-kauppojen selvittäjinä

Yksinkertaisimmilla futuuri- ja (perus)optio-sopimuksilla käydään kauppaa sekä sähköpörsseissä että OTC-markkinoilla. Monimutkaisemmilla johdannaisilla, mm. forward- ja swap-sopimuksilla sekä spark spread- ja swing-optioilla kaupankäynti tapahtuu vain OTC-markkinoilla. Muita tärkeitä OTC-tuotteita ovat strukturoidut sopimukset, kuten tolling- ja load-serving-full-requirement-sopimukset sekä sähkön siirtokapasiteettiin perustuvat FTR- ja FGR-johdannaiset (Deng & Oren 2006). Näitä käsitellään tarkemmin myöhemmässä vaiheessa.

Järjestäytyneiden sähköpörssien yleistytessä, sähkön tuottajien ja jakelijoiden toimintaympäristö on muuttunut. Aikaisemmin sähkömarkkinoiden kiinnostus kohdistui lähinnä sähkön luotettavaan toimitukseen. Luotettavuus on edelleenkin äärimmäisen tärkeää, mutta sen rinnalla ovat merkitystään nostaneet sekä optimaalinen taloudellinen tulos että tehokas riskienhallinta. Pääsyy esimerkiksi futuurikauppaan on toimijoiden tarve seurata ja säädellä sähkösalkkunsu volatiliteettia ja minimoida sähkön hinnan epäsuotuisan vaihtelun aiheuttamat negatiiviset vaikutukset (Byström 2003).

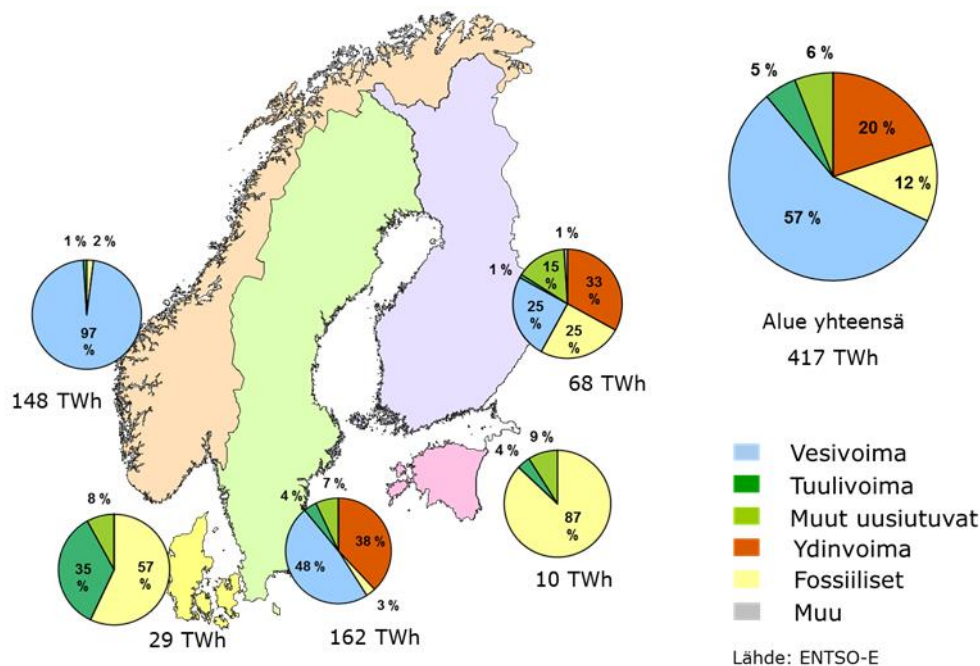
Tehokkaasti toimivien sähkömarkkinoiden toteuttaminen on osoittautunut haasteelliseksi tehtäväksi. Eräs vaikeimmin toteutettava vaatimus on reaaliaikaisen kysynnän ja tarjonnan tasapainottaminen

alueellisesti. Tämä vaatimus johtuu sähköntuotantoon ja jakeluun liittyvistä teknisistä ominaisuuksista. Koska sähköä ei pystytä varastoimaan taloudellisesti tehokkaasti, hetkellisenkin kysynnän ja tarjonnan tulee olla tasapainossa tai muuten koko järjestelmän toimivuus saattaa vaarantua. Tämän sähkön erityispiirteen vuoksi sähkömarkkinat tarvitsevat oheispalveluja tuotanto- ja jakeluketjuun. Näitä ovat mm. kysyntä-tarjontasuhteen tasapainotus (balancing) ja ylimääräinen tuotantokapasiteetti. Näiden yksityiskohtainen toteutus vaihtelee paljon, mutta käytännön toteuttajiksi lähes kaikkialla maailmassa ovat muotoutuneet alueelliset toimijat (Independent System Operator) jotka ylläpitävät järjestelmän toimivuutta kukin omalla alueellaan (Simkins & Simkins cop. 2013).

Sähkön hintaan vaikuttavia tekijöitä ovat lyhyellä tähtäimellä mm. säätila, kellon aika, polttoaineiden hinnat ja valuuttakurssit sekä huolto- ja käyttökatkokset. Keskipitkällä tähtäimellä, etenkin pohjoismaissa, korostuu vesivarantojen määrä, hydrologinen balanssi ja vuodenaika (Keskikallio & Lindholm 2003). Pitkällä tähtäimellä vaikuttavia tekijöitä ovat tuotanto- ja siirtokapasiteetti, talouden syklit ja yritysten markkinaosuudet.

### 3.2 Pohjoismainen sähkömarkkina

Pohjoismaisilla sähkömarkkinoilla sähköä tuotetaan pääsääntöisesti vesivoimalla, joka vuonna 2012 edusti noin 57 % kokonaistuotannosta. Muita merkittäviä tuotantomuotoja ovat ydinvoima ja fossiiliset polttoaineet (Kuvio 3).



Kuvio 3: Sähkön tuotanto pohjoismaisilla sähkömarkkinoilla 2012

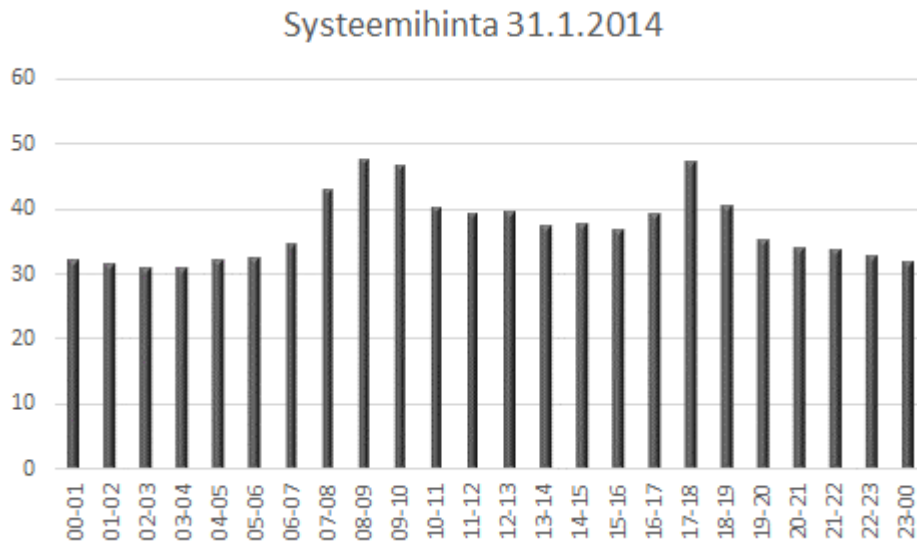
Suomessa sähkön kokonaistuotanto vuonna 2013 oli 68,2 TWh ja kulutus 83,9 TWh. Erotus 15,7 TWh oli nettotuontia. Maassamme on noin 120 sähköä tuottavaa yritystä ja noin 400 voimalaitosta, joista yli puolet on vesivoimalaitoksia. Muita tärkeitä sähkön tuotannon energialähteitä ovat ydinvoima, kivihili, maakaasu, puupolttoaineet sekä turve. Sähköstä lähes kolmannes tuotetaan yhteistuotantona lämmöntuotannon yhteydessä, jolloin polttoaineen energiasisältö käytetään mahdollisimman tarkkaan hyödyksi. Jopa 90 % polttoaineen energiasta saadaan muutettua sähköksi ja lämmöksi.(<http://energia.fi/energia-ja-ymparisto/sahkontuotanto> )

Nord Pool on alkujaan (1993) norjalaisen kantaverkkoyhtiö Statnett:n perustama sähkön markkinapaikka, joka oli aikanaan myös maailman ensimmäinen sähköpörssi. Vuonna 1996 ruotsalainen kantaverkkoyhtiö Svenska Krafnet osti puolet yhtiön osakekannasta ja näin muodostui ensimmäinen kansainvälinen sähköpörssi. Suomi liittyi Nord Pool:iin vuonna 1998 ja Tanska vuonna 2000. Yhtiöstä erotettiin lyhyen tähtäimen fyysiseen sähköntoimitukseen erikoistunut osa omaksi yhtiökseen vuonna 2002 ja se sai nimekseen Nord Pool Spot. Vuonna 2008 emoyhtiö Nord Pool:sta myytiin rahoitus tuotteisiin erikoistunut osa josta tuli Nasdaq-OMX-Commodities, pohjoismainen sähköjohdannaispörssi.

Nykyään Nord Pool Spot:n omistajia ovat siirtoverkkoyhtiöt Norjasta (Statnett SF), Ruotsista (Svenska Krafnet), Suomesta (Fingrid Oyj), Tanskasta (Energinet), Virossa (Elering), Liettuasta (Litgrid) ja Latviasta (Augstsprieguma tīkls). Oman toimintansa lisäksi Nord Pool Spot operoi yhdessä Nasdaq-OMX-Commodities kanssa markkinapaikkaa N2EX Isossa-Britanniassa.

Vuonna 2013 Nord Pool Spot:ssa kävi kauppaa 370 yritystä 20 maasta ja sen kautta toimitettiin sähköä 493 terawattituntia. Määrä vastaa Oslon kumulatiivista sähkönkulutusta viimeisen 61 vuoden ajalta (NordPoolSpot 2014).

Nord Pool Spot jakautuu edelleen Elspot-, Elbas-, säätö-, ja tasesähkömarkkinoihin. Elspot (day-ahead)-markkina on määrällisesti mitattuna sähkön päämarkkinapaikka pohjoismaissa. Kauppamuotona on suljettu huutokauppa, jossa ostajat ja myyjät jättävät hinta- ja volyymitarjouksensa päivittäin kello 12:00 (CET) mennessä. Tarjoukset jätetään erikseen seuraavan vuorokauden jokaiselle tunnille (00:00-24:00), joista järjestelmäalgoritmi laskee markkinahinnan. Näin saadaan periaatteessa perinteisen kysyntätarjontatasapainon avulla sähkön tuntikohtainen systeemihinta (Kuvio 4). Kauppaa käydään myös blokki-tarjouksina (block order), jossa useamman tunnin hintoja keskiarvotetaan sekä joustavilla tuntitarjouksilla (flexible hourly order) joissa toimitustuntia ei sovita ennakoon.



Kuvio 4: Systeemihinta 31.1.2014

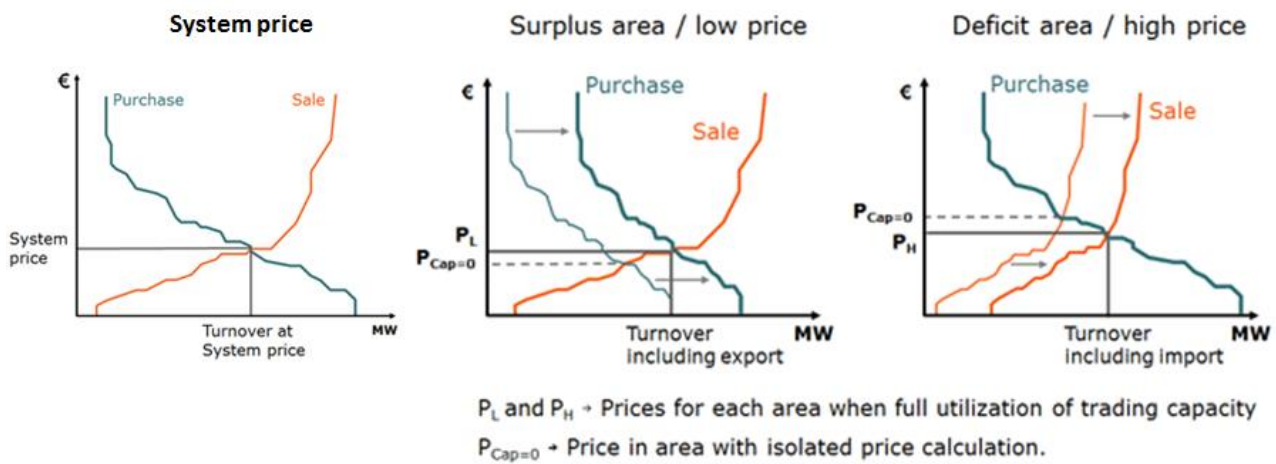
Data: Nord Pool Spot

Elbas (intraday)-markkina on tarkoitettu päivänsisäiseen kaupankäyntiin. Siellä tasapainotetaan kysyntätarjontasuhdetta joka on mahdollisesti muuttunut edellisenä päivänä solmittujen Elspot-sopimusten jälkeen. Kauppaa käydään firs-come-first-served-periaatteella ja toimitukset sovitaan vähintään seuraavalle täydelle tunnille.

Säätösähkömarkkina (balancing market) tasapainottaa lopullisesti reaaliaikaisen sähkön kysynnän ja tarjonnan ja on tarkoitettu Elspot- ja Elbas-markkinoiden jälkeiseen hienosäätöön. Hinta muodostuu kuten Elspot-markkinoilla, mutta erillisellä huutokaupalla. Kansallinen kantaverkko-operaattori (Suomessa Fingrid) ylläpitää säätösähkömarkkinaa tarjousten perusteella, jotka voivat olla joko ylös- tai alassäätötarjouksia (Fingrid 2014). Lopuksi sähköntuottaja- ja -kuluttajakohtaisesta taseselvityksestä laskettavan tasepoikkeaman perusteella, kantaverkkoyhtiö maksaa tai laskuttaa yli- tai alijäämän markkinaosapuolille.

Sähköpörseissä toimii myös markkinatakaaja, jonka tehtävänä on taata sovittu likviditeetti markkinoilla. Markkinatakaaja sitoutuu jatkuvasti seuraamaan, analysoimaan ja päivittämään tuotteiden osto- ja myyntitarjouksia, joiden minimivolyymit ja maksimi-spreedit (osto- ja myyntitarjouksien erotus) on määriteltä sopimuksessa.

Tällä hetkellä pohjoismainen markkina on jaettu (market splitting) 15 tarjousalueeseen (bidding area)<sup>3</sup>. Eri tarjousalueiden tarkoitus on tasata alueellisten markkinaolosuhteiden vaikutusta sähkön hintaan ja toimia työkaluna hallittaessa rajoitteita sähkön siirtoverkoissa. Jos alueellinen kysyntä ja tarjonta eroavat, sähköä siirretään näiden alueiden välillä. Kysynnän ja tarjonnan lisäksi merkittävä tekijä sähkön hinnoittelussa on alueiden välinen siirtokapasiteetti. Mikäli jonkin alueen ylikysyntä uhkaa alueiden välistä siirtokapasiteettia, järjestelmä nostaa hintaa jotta uhkaava ylikysyntä saadaan purettua. Vastaavasti ylituotantoalueilla hintaa lasketaan jolloin tarjonta ja kysyntä tasapainottuvat (Kuvio 5).

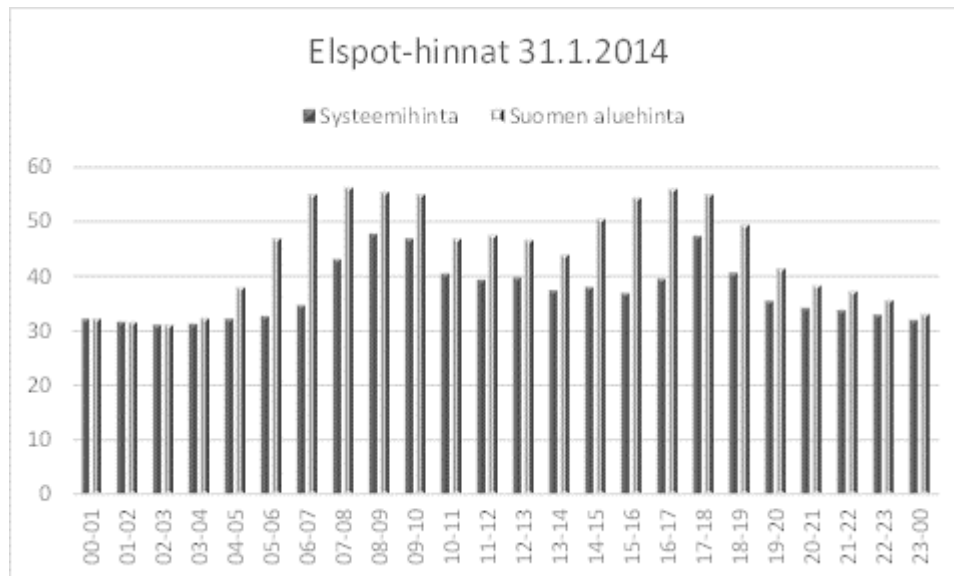


Kuvio 5: Systeemi- ja aluehintojen muodostuminen

Lähde: Nord Pool Spot

Näin syntyy aluehinta, joka joissain tapauksissa saattaa erota systeemihinnasta merkittävästi (Kuvio 6).

<sup>3</sup> Norja 5, Ruotsi 4, Tanska 2, Suomi, Viro, Latvia, Liettua



Kuvio 6: Systeemi- ja aluehintojen ero

Lähde: NordPoolSpot

Nasdaq-OMX-Commodities on raaka-ainejohdannaispörssi, joka tarjoaa käteissuoritteisia johdannaisopimuksia pohjoismaiden, Baltian, Saksan, Hollannin ja Iso-Britannian sähkömarkkinoilla. Pohjoismaisten sähkömarkkinoiden osuus kaupankäynnistä on selkeästi dominoiva, muiden markkinoiden ollessa kaupankäyntivolyymeiltaan marginaalisia. Taulukossa 1 on Nasdaq-OMX-Commodities kaupankäyntivolyymien yleisraportti joulukuulta 2013.

NASDAQ OMX Commodities					
	Dec 2013	Nov 2013	Dec 2012	Jan-Dec 2013	Jan-Dec 2012
<b>Financial Power Contracts</b>					
<b>Turnover on the exchange</b>					
Nordic Power (TWh)	65.2	84.8	74.8	887.6	927.1
German Power (TWh)	1.9	2.4	0.9	34.5	17.1
Total Power (TWh)	67.1	87.2	75.7	922.5	944.7
mEUR	2 253	3 278	2 894	33 806	34 467
Number of transactions	7 054	8 819	8 427	100 284	112 466
GWh/day	3 730	4 154	4 454	3 690	3 764
mEUR/day	125.2	156.1	170.2	135.2	137.3
No. transactions/day	391.9	420.0	495.7	401.1	448.1
<b>Clearing turnover</b>					
Nordic Power (TWh)	122.4	145.1	146.3	1 636.7	1 662.6
German Power (TWh)	2.1	2.5	1.5	40.7	19.6
UK Power (TWh)	0.0	0.0	0.5	1.9	20.8
Total Power (TWh)	124.5	147.6	148.3	1 679.5	1 703.0
mEUR	3 765	5 123	5 294	55 898	57 030
Number of transactions	9 181	11 183	10 711	128 704	143 375
GWh/day	6 917	7 028	8 726	6 718	6 785
mEUR/day	209.2	243.9	311.4	223.6	227.2
No. transactions/day	510.1	532.5	630.1	514.8	571.2

Taulukko 1: Kaupankäyntivolyymi, joulukuu 2013 raportti

Kauppaa käydään sekä peruskuorman (Base Load Contracts) että kulutuspiikkien (Peak Load Contracts) suojaukseen tarkoitetuilla futuuri-, DS-futuuri-, EPAD- ja optio-sopimuksilla. DS-futuuri (Deferred Settlement) nimikkeellä tarkoitetaan forward-sopimusta. Futuureja on tarjolla seuraavan päivän



sekä yhdestä kuuden viikon päästä erääntyviin toimituksiin. DS-futuuriin juoksuajat vaihtelevat yhdestä kuuteen kuukauteen, kvartaaliin ja vuoteen (Taulukko 2).

Nordic Power		
	Base Load	Peak Load
Product	Futures: Day, week DS Future: Month, Quarter, Year, Option, EPAD	Futures: Week DS Future: Month, Quarter, Year
Min. Contract Size	1 MW	1 MW
Min. Ticker Size	0.01	0.01
Currency	EUR	EUR
Reference Price	The official Nordic underlying day-ahead price as published by Nord Pool Spot, Monday through Sunday, covering the time period 00.00-24.00 CET.	The official Nordic underlying day-ahead price as published by Nord Pool Spot, Monday through Friday, covering the time period 08.00-20.00 CET.

Taulukko 2: Nasdaq-OMX-Commodities-tuotteet

Lähde: Nasdaq OMX

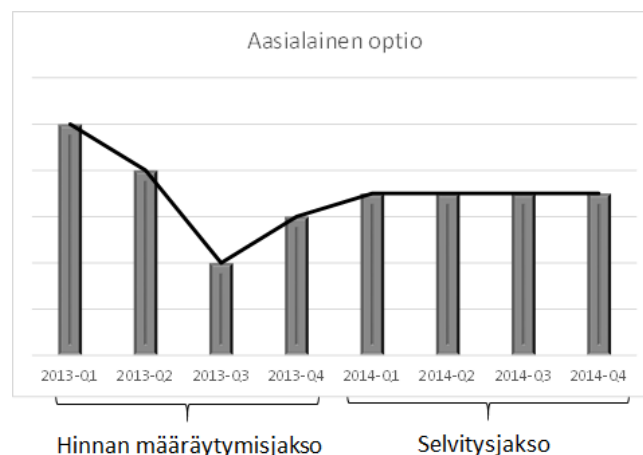
Kaikkien sopimusten referenssi-hintoina toimivat Nord Pool Spot-sähköpörssin systeemihinnat, jotka toimivat referenssi-hintoina myös OTC-markkinoilla. Pohjoismaisilla sähkömarkkinoilla OTC-kauppa voi käydä esimerkiksi ”Nord Pool Clearing’s OTC/bilateral-market clearing service”-palvelussa (NasdaqOMX 2014).

## 4 Sähköjohdannaisia

Johdannaisia käytetään markkinoilla useisiin eri käyttötarkoituksiin. Niitä voidaan käyttää mm. spekulointiin, arbitraasi-kaupankäyntiin, markkina- ja kiinteähintaisten vastuiden vaihtoon sekä taktisen allokoinnin tai markkinanäkymän vaihtoon. Alun perin johdannaiset ovat kuitenkin kehittyneet suojaustarkoituksiin (Hull cop. 2009). Monissa johdannaispörssissä osa sopimuksista on puhtaasti rahoitus sopimuksia (financial/cash settlement/delivery), joissa toteutus tapahtuu rahasuorituksena sopimuksen arvon mukaan sen päättyessä. Loput ovat toimitussopimuksia (physical settlement/delivery) jolloin ostaja todella vastaanottaa ostamansa kohde-etuuden ja maksaa siitä sopimuksen mukaisen hinnan. Johdannaisten hinnoittelussa kohde-etuuden hinta ja etenkin sen volatiliiteetti ovat kaikkein merkittävimpiä tekijöitä.

## 4.1 Optiosopimus

Osto (call) - ja myyntioptiot (put) antavat haltijalleen oikeuden, mutta ei velvollisuutta, ostaa tai myydä sähköä sovitun määrän, sovittuun hintaan (strike price), joko sopimuksen voimassaolon aikana tai sen päättyessä. Eurooppalaisessa optiossa option toteutus voidaan tehdä ainoastaan sopimuksen päättyessä, mutta amerikkalainen optio voidaan toteuttaa milloin tahansa sen voimassaolon aikana. Sähkömarkkinoilla käytetään yleisesti aasialaista optiota, joka eroaa finanssimarkkinoiden optioista siten, että toteutushetkellä markkinahinta lasketaan määritellyn periodin keskiarvona eikä sopimuksen toteutus- tai erääntymispäivän spot-hintana (Kuvio 7)



Kuvio 7: Aasialaisen option toteutushinnan määrittäminen.

Myös optioiden kaupankäynnissä käytetään takuujärjestelmää lieventämään vastapuoliriskiä. Optioiden liikkeellelaskija on velvoitettu pitämään vaadittavan vakuuden vakuustilillään tulevien sitoumuksiensa kattamiseksi. Option ostajalta ei kuitenkaan vakuuta vaadita. Tämä johtuu siitä, että option ostaja ei itse sitoudu mihinkään vaan ostaa mahdollisuuden toteuttaa optio myöhemmin. Optio maksetaan kokonaan välittömästi ja huonoimmassa mahdollisessa tapauksessa optio erääntyy arvottomana eikä voi näinollen aiheuttaa sen ostajalle maksusitoumuksia.

Sähkösektori on hyödyntänyt option-sopimusten periaatteita jo vuosikymmeniä ennen varsinaisten johdannaistuotteiden tuloa markkinoille. Esimerkiksi tuotantokustannusten ollessa jotakuinkin kiinteitä, sähkön tuotantokapasiteetti voidaan ajatella optiona, mikä tekee siitä tehokkaan hintariskin suojaustyökalun sähkön myyjille ja markkinoijille (Deng & Oren 2006). Toinen tapa on ollut sisällyttää toimitus- ja ostosopimuksiin erilaisia lisäehtoja ja sanktioita jotka toteutuessaan ovat aiheuttaneet optioiden kaltaisia maksuseuraamuksia tai -saatavia. Esimerkiksi sitovaan ostosopimukseen on lisätty mahdollisuus ostaa lisäsähköä samaan hintaan ennalta määrättyyn määrälliseen rajaan asti, mikäli

ostaja katsoo sen kohdaltaan edulliseksi. Sähköoptiot, kuten muutkin sähköjohdannaiset, yleistyivät vasta 1990-luvulla uudistuneiden sähkömarkkinoiden myötä. Ne vaihtelevat voimassaoloajoiltaan yleensä lyhyestä keskipitkille ajanjaksoille olleen pisimmillään joitakin vuosia.

Sähkön tukkumarkkinoiden ja optioiden hinnoittelumallien kehittyminen sekä riskienhallinnan teknikoiden leviäminen ovat saaneet aikaan optioita, jotka perustuvat perinteisen sähkön hinnan lisäksi myös muihin tekijöihin. Perusteina toimivat mm. toimitusmäärät, -sijainti ja -ajoitus sekä laatu ja tuotantoon käytetty polttoaine, eikä näitä löydy perinteisiltä rahoitusmarkkinoilta. Esimerkkeinä mm. spark-spread- ja swing-optiot ja FTR- ja FGR-sopimukset (Deng & Oren 2006), joita käsitellään alla.

Barrier-optioissa tuotto riippuu siitä saavuttaako kohde-etuus määritellyn raja-arvon sen voimassaolon aikana ja ne jaetaan knock-out- ja knock-in-optioihin. Knock-out-option arvo putoaa nolnaan ja sen olemassaolo päättyy jos se saavuttaa raja-arvonsa. Knock-in-optio on käänteinen eikä sillä ole arvoa ennen raja-arvon saavuttamista, jolloin se tulee aktiiviseksi. Näistä kahdesta periaatteesta on johdettu useita eri variaatioita, joissa joko osto-, tai myyntioptio lakkaa olemasta tai aktivoituu sen mukaan saavutetaanko määritelty ylä- tai alaraja (esimerkiksi down-and-out-call, up-and-in-put jne.) (Hull cop. 2009).

Quanto-optio on hybridi-johdannainen, joka perustuu kahteen muuttujaan. Rahoitusmarkkinoilla niitä voidaan käyttää mm. valuuttariskiltä suojautumiseen. Sähkömarkkinoilla muuttujina käytetään sääolosuhteista johtuvaa lämpötilaa ja jotakin energiaraaka-ainetta. Jälkimmäinen voi olla esimerkiksi sähkön tuotantoon käytetyn kaasun tai lopputuotteen eli sähkön hinta. Lämpötilan laskiessa lämmitykseen käytettävän sähkön kulutus pääsääntöisesti kasvaa. Perinteisillä sääjohdannaisilla voitaisiin suojata kulutuksen kasvusta johtuvaa volyyimiriskiä. Vaikkakin kulutuksella on vahva korrelaatio sähkön hintaa, ne eivät aina muutu lineaarisesti suhteessa toisiinsa, joten hintariskin suojausta tulisi ainakin harkita täydennettäväksi erikseen. Quanto-optio suojaa samanaikaisesti sekä volyymi- että hintariskiä, yksinkertaistaen suojausstrategian toteutusta. Sen tyypillinen voimassaoloaika on muutama kuukauden, esimerkiksi talvikauden ylitse. Tutkimuksessa (Caporin ym. 2012) on käsitelty tarkemmin quanto-option suojaustehokkuutta.

Edelliset optiot voidaan myös yhdistää, jolloin saadaan Barrier-Quanto-optio. Näin saadaan johdannainen, jolla voidaan strategian mukaisesti joko ottaa mukaan tai sulkea pois ääritapahtumia sääti-loissa ja markkinahinnoissa. Jotta yksittäiset ääritapahtumat, esimerkiksi yhden päivä tulipalopakkannen, eivät toisi suojaukseen lisäriskiä, näiden vaikutusta voidaan vaimentaa aasialaisella optiolla eli

keskiarvottamalla tarkasteluperiodin yli. Kaikesta monimutkaisuudestaan huolimatta tällaisia, aasialaisia Barrie-Quanto-optioita, käytetään markkinoilla niin paljon, että nille on annettu oma nimi: Pariilainen-Rainbow-Barrier-optio.

Etenkin fossiilisia polttoaineita käyttävän sähköntuotannon suojaamiseen, tärkeä luokka standardoimattomista (OTC) sähköjohdannaisista ovat spark-spread-optiot. Ne ovat kahden raaka-aineen välisiä johdannaisia, joissa hinta määräytyy näiden raaka-aineiden hintojen muutoksista. Sähkömarkkinoilla ne ovat käyttökelpoisia suojattaessa sähköön tuottamiseen tarvittavan polttoaineen ja lopputuotteen myytävän sähköön hintojen vaihtelua. Jos ei oteta huomioon sähköön tuotantolaitoksen toimintaan liittyviä kuluja ja muita rajoituksia (kuten käynnistys- ja alasajokustannuksia), yhden kilowatin spark-spread-call-optio simuloi yhden kilowatin tuotanto-oikeutta tuotantolaitokseen. Tästä syystä spark-spread-optiot ovat laajasti käytettyjä työkaluja, kun halutaan suojautua fossiilisia polttoaineita käyttävän tuotantolaitoksen sähköön ulosmyynnin hintariskiä (Deng & Oren 2006). Lisäksi niillä voidaan tehokkaasti arvioida tuotantolaitoksen pääoma-arvoa.

Swing-optio on alkujaan kehitetty kaasuteollisuudessa (Deng & Oren 2006) , josta se on kopioitu sähkömarkkinoille. Sillä on muutamia erityispiirteitä verrattuna muihin sähköjohdannaisiin. Ensiksi nämä optiot voidaan toteuttaa joko päivittäin tai määrättyinä päivinä sopimuksen mukaan. Toiseksi, toteutettu volyymi voi vaihdella (swing) päivittäisten minimi- ja maksimirajojen sisällä, minkä lisäksi myös sopimuksen kokonaisvolyymin on pysyttävä minimi- ja maksimirajojen sisällä viikko- tai kuukausitasolla. Kolmanneksi, toteutushinta (strike price), voi olla joko kiinteä koko sopimuksen ajan tai se voidaan asettaa aina seuraavaksi toteutusperiodiksi kerrallaan sovitulla laskukaavalla. Lopuksi, mikäli ostaja ei täytä minimiostovaatimusta, siitä seuraa ostajalle joko kiinteä sopimussakko tai etukäteen sovitulla kaavalla laskettu kompensatio myyjälle (Deng & Oren 2006).

Kuten edellä olevasta käy ilmi, optioita voidaan räätälöidä eri tarkoituksiin lähes määrättömästi. Näinollen ne ovatkin tyypillisiä OTC-markkinatuotteita. Sähköoptioissa kohde-etuutena voi yleensä olla joko sähköfutuuri/forward-sopimus tai sovitun volyymin (MWh) toimitus sovitussa jakelupisteessä. Nasdaq-OMC-Commodities-pörssissä vaihtoehtona on vain toinen sähköjohdannainen.

## 4.2 Forward- ja futuurisopimus

Yleisesti markkinoilla forward-sopimus, josta Suomessa käytetään myös nimeä termiini-sopimus, on sitoumus ostaa (long-position) tai myydä (short-position) kohde-etuutta sovittuun hintaan (K, strike price/referenssihintaa.), sovittuna aikana (maturity / expiration date). Koska kyseessä on OTC-markkinatuote, nämä ja muut ehdot voidaan sopia vapaasti osapuolten välillä.

Futuuri-sopimus on monessa suhteessa samanlainen sijoitustuote kuin forward-sopimuskin. Pääsääntöisesti futuurit eroavat kuitenkin merkittävästi forward-sopimuksista siten, että kaikki niihin liittyvät muuttujat ovat tarkasti ennalta standardoituja. Toisin kuin forward-sopimuksissa, futuurisopimuksissa ei siis myyjän ja ostajan välillä ole lainkaan neuvotteluvaraa.

Futuureilla käydään kauppaa pääsääntöisesti johdannaispörsseissä, kun taas forward-sopimusten kaupankäynti tapahtuu OTC-markkinoilla, myyjän ja ostajan kahdenvälisenä transaktiona. Tästä johtuen futuurihinnat kuvastavatkin paremmin markkinoiden käsitystä kohde-etuuden ”oikeasta” hinnasta kuin forward-sopimukset. Globaalissa kaupankäynnissä suurin osa futuureista toteutetaan käteisso-rituksina kun taas forward-sopimusten toteutus on pääosin toimitustoteutus (Deng & Oren 2006).

Takuujärjestelmä (margin-requirement-system) on olennainen osa futuurikaupankäyntiä, jolla se myös eroaa forward-sopimuksista. Johdannaispörsseissä järjestelmään sisäänrakennettu toiminnallisuus takaa, että futuurikaupankäynnin osapuolet pääsevät eroon vastapuolen luottoriskistä. Kaupankäyntiä aloitettaessa markkinatoimijat joutuvat tallettamaan järjestelmään rahallisen vakuuden, jolle on määrätty minimi alaraja. Jokaisen kaupankäyntipäivän päätteeksi kaikki futuurikaupat selvitetään, jolloin aukiolevien<sup>4</sup> futuurien hinnanlasku laskee ostajan vakuusarvoa ja kasvattaa myyjän vakuusarvoa. Kassavirtaa siirtyy näin futuurin ostajalta sen myyjälle. Futuurin hinnan noustessa vakuusarvot käyttäytyvät päinvastoin. Mikäli vakuusarvo laskee alle minimirajan (margin limit) järjestelmä ilmoittaa (margin call) markkinatoimijalle että hänen on joko myytävä kyseinen futuuri tai lisättävä vakuutta yli minimirajan. Mikäli näin ei tapahdu annetun aikarajan puitteissa, pörssin ylläpitäjä pakkomyy futuurin ja tilittää sen arvon mukaisen saatavan toiselle markkinaosapuolelle. Vaikkakin finanssikriisin jälkeen vaatimukset vastaavanlaiselle järjestelmälle OTC-markkinoilla ovat lisääntyneet, forward-sopimusten kaupankäynnissä tällaista vakuusjärjestelmää ei useimmiten vielä ole. Mi-

---

<sup>4</sup> Liikkeelle laskettaessa futuuri ”aukeaa”, kunnes se suljetaan ja sen olomassaolo loppuu. Open-interest on auki olevien aktiivisten johdannaissopimusten kokonaismäärä.

käli forward-sopimuksen erääntyessä toimittava osapuoli ei pysty vastaamaan velvoitteistaan, jää toteutuneen luottoriskin tappio vastaanottajan kannettavaksi (Deng & Oren 2006). Taulukossa 3 on yhteenveto forward- ja futuurisopimusten eroista.

<b>FORWARD</b>	<b>FUTURE</b>
<b>Bi-lateraalisopimus</b>	<b>Johdannaispörssi</b>
<b>Standardoimaton</b>	<b>Standardoitu</b>
<b>Yleensä 1 toimitusperiodi</b>	<b>Useita toimitusperiodeja</b>
<b>Selvitys sopimuksen päättyessä</b>	<b>Selvitys päivittäin</b>
<b>Toimitus- / rahoitussopimus</b>	<b>Yleensä rahoitussopimus</b>
<b>Luottoriski</b>	<b>Ei luottoriskiä</b>

Options, Futures, and Other Derivatives, 8th Edition, Copyright © John C. Hull 2012

Taulukko 3: Forward- ja Futuurisopimusten erot

Sähkömarkkinoilla käytetään paljon rahoitusmarkkinoilta tuttuja standardijohdannaissia. Sähkönjake-luurytykset pyrkivät usein poistamaan tai vähintäänkin pienentämään hintariskiään suojaussalkulla joka puolestaan pyrkii mallintamaan asiakkaiden kulutusprofiilia useita kuukausia eteenpäin. Tämä toteutetaan suurimmalta osalta eripituisilla forward-, ja futuuri-sopimuksilla. Forward-sopimukset ovatkin yleisin riskienhallinnan instrumentti sähkömarkkinoilla (Deng & Oren 2006).

Yleensä sähköntuottajat toimivat forward-sopimusten liikkeellelaskijoina (short-forward), koska näin he voivat varmistaa tulevaisuuden myyntihinnan tuottamalleen sähkölle. Vastaavasti sähkön kuluttajat varmistavat sähkön sisäänostohinnan ostamalla forward-sopimuksen (long-forward). Maailman sähköpörssissä sopimusten kestoajat (maturity) vaihtelevat tunneista vuosiin. Lisäksi sopimukset erotellaan päivän sisäisen toimitusajan suhteen: on-peak-, off-peak-, ja over-the-clock-sopimuksiin. Erityisesti lyhyen maturiteetin, kuten tuntien tai yhden päivän kestoiset sopimukset ovat yleensä rahoitussopimuksia. Viikko-, ja kuukausikestoisia sopimuksia käytetään sekä rahoitus-, että toimitus-sopimuksina kun taas vuosien pituiset sopimukset ovat pääsääntöisesti toimitussopimuksia (Simkins & Simkins cop. 2013). OTC-markkinoilla kaikki ehdot ovat kuitenkin sovittavissa. Nasdaq-OMC-Commodities-pörssi eroaa tästä siten, että kaikki sopimukset ovat rahoitussopimuksia. Toinen käytännön ero maailmalle on, että sähköfutuurit ovat yleisesti toimitusmääriltään (MWh) huomattavasti pienempiä kuin vastaavat forward-sopimukset (Deng & Oren 2006). Nasdaq-OMX-Commodities-pörssissä molempien minimikoko on sama yhden megawatin sopimus.

### 4.3 Muita johdannaistuotteita

CFD (Contract For Difference) on tyypillinen rahoitusmarkkinoiden johdannainen, jonka arvo perustuu kahden vertailtavan kohde-etuuden keskinäiseen arvon muutokseen. Niitä voidaan käyttää esimerkiksi valuuttasuojaukseen kahden valuutan välillä. Sähkömarkkinoilla futuureilla tapahtuva suojaus olisi riittävä, mikäli markkinoilla myytävällä sähköllä olisi sama hinta kaikilla markkinan sisäpuolisilla alueilla. Näin ei kuitenkaan ole, kuten kappaleessa 3.2 on kuvattu. Pörssissä vaihdettavien futuurien referenssihintana toimii Nord-Pool-Spot:n systeemihinta, kun taas Elspot- ja Elbas-markkinoiden fyysisen sähkön toimitushinta on aluehinta, joka eroaa systeemihinnasta joskus selvästikin. Tässä tilanteessa CFD-sopimukset tarjoavat mahdollisuuden tehokkaaseen suojaukseen. Nasdaq-OMX-commodities-pörssissä yleismaailmallisesta CFD:stä käytetään nimeä EPAD (Electricity-Price-Area-Difference).

Swap-sopimukset ovat rahoitussopimuksia, joilla niiden haltija pystyy vaihtamaan kohde-etuudesta maksettavan hinnan joko sovitusta kiinteästä hinnasta markkinahintaan tai päinvastoin. Rahoitusmarkkinoilla suosituimpia ja tunnetuimpia ovat ehkä korko-swakit. Sähkö-swapeja käytetään laajasti lyhyestä keskipitkiin ajanjaksoihin ja niillä tavoitellaan hintavakautta sopimuskauden ajaksi. Ne voidaan rinnastaa forward-sopimuksiin joissa on useita toimitusjaksoja ja näillä jaksoilla on sama toimitushinta (forward price). Maksusuoritus lasketaan sopimuksessa olevan kiinteän yksikköhinnan ja markkinayksikköhinnan erotuksena kerrottuna toimitusvolyyymilla ja se maksetaan sovituin aikajaksoin (esim. kuukausittain) koko sopimusjakson ajan. Sijaintiin perustuvia sähkö-swapeja käytetään myös yleisesti varmistamaan toimitushinta alueelle, jolle ei ole tarjolla sähkö-futuureja, vaan suojaus joudutaan rakentamaan muilla tavoin. Niissä hintaero lasketaan määritellyn forward-hinnan ja referenssi-sijainnin spot-hinnan perusteella (Deng & Oren 2006).

Sähkötodistukset (Electricity-Certificate, EL-Cert) ovat sähkömarkkinoiden regulaattorin tapa tukea uusiutuvien energiamuotojen lisäämistä sähkön tuotannossa. Järjestelmään hyväksytään uusiutuvia energiamuotoja käyttävät tuotantolaitokset. Hyväksytyt voimalaitokset saavat yhden todistuksen jokaista tuottamaansa megawattituntia kohden. Lisäksi sähkön tuottajien on hankittava sähkötodistuksia osalle kokonaistuotannostaan. Nämä todistukset myydään edelleen sähkön jakelijoille ja suurkuluttajille. Kaikkien toimijoiden jotka toimittavat sähköä loppukäyttäjille on hankittava sähkötodistuksia, mukaan lukien yritykset jotka tuottavat sähköä omaan käyttöönsä.

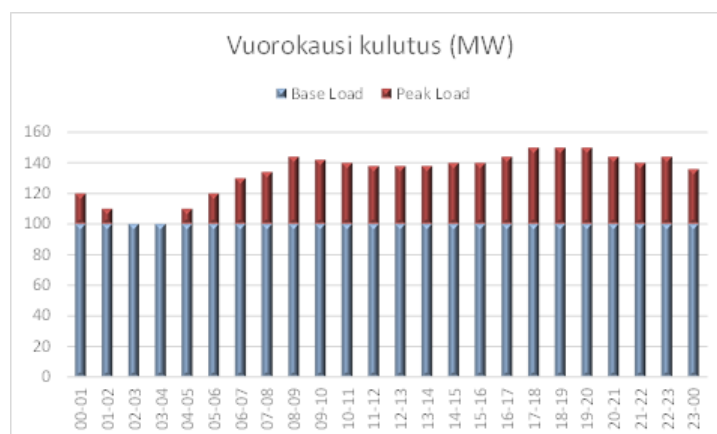
FTR:t (Financial Transmission Rights) ja FGR:t (FlowGate Rights) ovat sähköjohdannaisia joiden kohde-etuutena toimii sähkön siirtoverkon kapasiteetti. Kahden siirtopisteen välinen (point-to-

point) FTR oikeuttaa haltiansa korvaukseen ylimääräisistä kustannuksista, jotka aiheutuvat siirto-verkon ruuhkautumisesta. FTR optio antaa oikeuden toteuttaa FTR kun kassavirta on sen haltialle positiivinen, mutta ei velvoita maksuun kassavirran ollessa negatiivinen. Koko siirtoverkko koostuu siihen liitetystä yksittäisistä elementeistä, joissa jokaisessa on kaksi siirtosuuntaa. Näitä elementtejä ovat esimerkiksi itse siirtolinjat, muuntajat tai niiden yhdistelmät. Elementti- ja siirtosuunta-kohtainen FGR määrittelee sen sähkönsiirtokapasiteetin, johon sen haltialla on oikeus. Mikäli tätä sovittua oikeutta ei voida hyödyntää elementtikohtaisten kapasiteettiongelmien vuoksi, FGR:n haltija on oikeutettu korvaukseen. FGR:n kassavirta ei voi olla negatiivinen, joten se itsessään voidaan mieltää myös optioksi. Useimmiten sekä FTR että FGR luokitellaan kuitenkin strukturoiduiksi sopimuksiksi (Deng & Oren 2006).

## 5 Suojauksen sovelluksia

Johdannaisia voidaan käyttää suojautumiseen yksittäisinä instrumentteina ja niitä voidaan yhdistellä erilaisiksi strategioiksi. Lähes kaikkia standardijohdannaisten strategioita käytetään myös energiajohdannaisten kaupankäynnissä. Sen lisäksi on kehitetty sopimuksia jotka sopivat etenkin sähköjohdannaisiin niiden erityisluonteensa vuoksi.

Lyhyellä aikavälillä sähkön kulutuksen ja hintojen vaihtelu johtuu suurimmalta osalta ulkolämpötilasta ja kellonajasta. Talvikuukausina tarvitaan enemmän sähköä lämmitykseen kuin kesäkuukausina ja päiväaikaan kulutus on suurempaa kuin yöllä. Näinollen suojaus voidaan jakaa kahteen osaan, peruskuormaan (base load) ja huippukuormaan (peak load) (Kuvio 8).



Kuvio 8: Kulutuksen jaottelu.

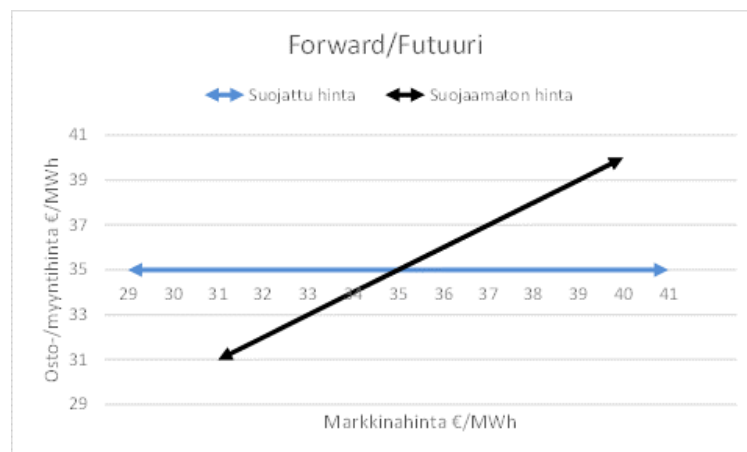


Erilaisia suojausstrategioita voidaan kehitellä lukemattomia. Seuraavassa on käsitelty muutamia suosittuja esimerkkistrategioita.

## 5.1 Suojaus yksittäisillä johdannaisilla

Sähkön tuottaja tietää suhteellisen suurella tarkkuudella, milloin ja miten paljon se haluaa myydä sähköä lähitulevaisuudessa. Näinollen se voi halutessaan tehokkaasti varmistaa tulevan voittonsa, lukitsemalla tuotannon ulosmyyntihinnan ja -määrän. Tämä tehdään myymällä forward-, future-, kiinteähintaisia swap- tai osto-optiosopimuksia. Ylläolevan kulutusprofiilin mukaisesti sähkön tuottaja voi esimerkiksi myydä 100 yksikön verran kiinteään hintaan olevia base-load-päiväfutuureja. Riippumatta sähkön markkinahinnan vaihtelusta, ulosmyyntihinta on lukittu. Sähkön suurkuluttajat osaa- vat myös ennakoida sähkön tarpeensa ja toimivat edellä mainittujen johdannaiskauppojen vastapuol- ina. Ostettuina, tuottajan liikkeelle laskemat (myydyt) johdannaissopimukset tarjoavat tehokkaan vaihtoehdon kuluttajille varmistaa sähkön sisäänostohinta ja näin tasoittaa kustannusvaihteluita.

Kuviossa 9 on esimerkki, kun tuottaja/myyjä haluaa suojata ulosmyyntihinnan tulevaisuudessa hin- taan 35 € megawattitunnilta. Hän myy (short) futuurin toteutushinnalla 35 €, jonka kuluttaja ostaa. Hinnan ollessa korkeampi kuin 35 € futuurin toteutushetkellä, tuottaja maksaa kuluttajalle erotuksen. Hinnan ollessa alle 35 €, rahavirta on kuluttajalta tuottajalle.



Kuvio 9: Esimerkkisuojaus futuuri-sopimuksella

Yksittäisellä johdannaisella toteutettu suojaus on hyvin yksinkertainen ja suoraviivainen. Ongelmia tosin saattaa aiheuttaa käytössä olevien johdannaisten pieni likviditeetti. Taulukossa 4 on 31.1.2014 klo13:23:51 tilanteen mukainen tarjouskirja seuraavan yhdeksän päivän päiväfutuureista Nasdaq-

OMX-Commodities-pörssissä. Tuolla hetkellä kyseisenä päivänä kauppaa oli käyty ainoastaan kahden seuraavan päivän futuureilla.

● Updated: 2014-01-31 13:23:51  
AGGREGATED VOLUME (GWH)

11,04

PRODUCT SERIES	BID	ASK	LAST	+/-	%	HIGH	LOW	CLOSING	AGGR. VOLUME (MW)	HOURS	OPEN INTEREST	UPDATED
ENOD0102-14	31,50	31,60	31,60	0,17	0,54	31,60	31,30	31,43	370,00	24	65	11:59:52
ENOD0202-14		31,50	31,50	0,27	0,86	31,50	31,50	31,23	90,00	24		12:59:05
ENOD0302-14		36,00		0,00	0,00					24		13:10:24
ENOD0402-14				0,00	0,00					24		00:00:00
ENOD0502-14				0,00	0,00					24		00:00:00
ENOD0602-14				0,00	0,00					24		00:00:00
ENOD0702-14				0,00	0,00					24		00:00:00
ENOD0802-14				0,00	0,00					24		00:00:00
ENOD0902-14				0,00	0,00					24		00:00:00

SHARE  

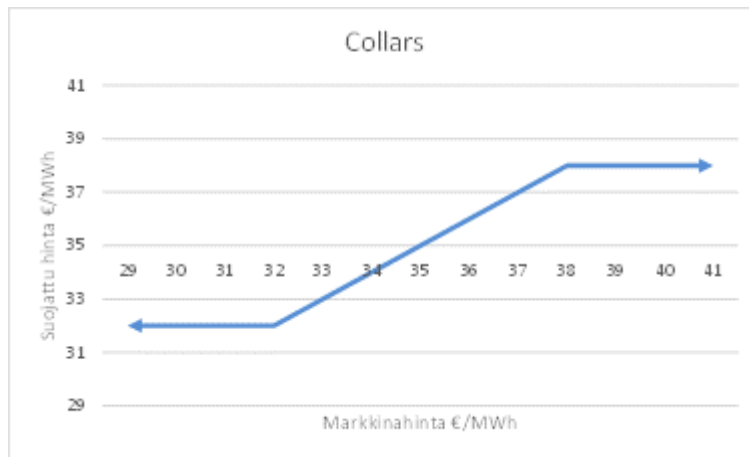
Taulukko 4: Base-Load-Day-Future tarjouskirja

Lähde: NasdaqOMX

Edellä mainittu esimerkki toimii hyvin etenkin lyhyellä tähtäimellä, jolloin yksikkökustannukset voidaan katsoa kiinteiksi. Pidemmällä tähtäyksellä, kun/jos yksikkökustannukset ovat vaihtelevia, spark spread-optioilla oikein rakennettu suojaussalkku varmistaa valitun ajanjakson tulovirran tuotannolle.

## 5.2 Suojaus useamman johdannaisen strategialla

Collars-strategiassa asetetaan pohjahinta ja hintakatto, joiden välissä ostetun tai myydyn sähkön hinnan halutaan pysyvän (Kuvio 10). Kun kuluttaja haluaa ostaa sähköä myöhempänä ajankohtana tässä hintaikkunassa, strategia rakennetaan ostamalla osto-optio ja myymällä myynti-optio. Kun tuottaja haluaa myydä myöhemmin näiden hintarajojen välillä, ostetaan myyntioptio ja myydään osto-optio. Vastakkaisten suoritusten erääntymiskausien tulee olla samat.

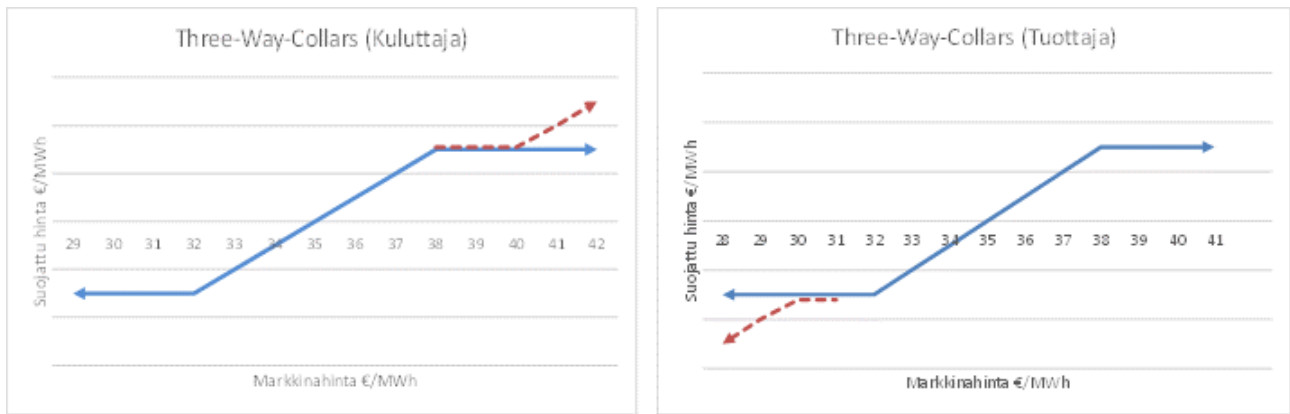


Kuvio 10: Collars-strategia

Oletetaan esimerkiksi, että sähkön markkinahinta on suojaushetkellä 35 € megawattitunnilta. Kuluttaja haluaa suojata hinnan siten, että sen vaihteluväli on korkeintaan 3 € suuntaansa. Hän ostaa osto-option toteutushintaan 38 € ja myy samanaikaisesti myyntioption toteutushintaan 32 €. Jos markkinahinta nousisi yli 38 €:n, olisi hän kuitenkin oikeutettu ostamaan sähköä hintaan 38 €. Markkinahinnan laskiessa alle 32 €:n, olisi hän velvoitettu maksamaan myyntioption ostajalle 32 €:n ja todellisen markkinahinnan erotuksen. Tässä tilanteessa kuluttaja tekisi tappiota erotuksen verran, ja menettäisi sähkön hinnan laskun myötä tulleen kustannusten laskun. Mutta tarkoitushan ei ollutkaan spekuloida ja optimoida hintaa, vaan suojata ja varmistaa se 3 €:n vaihteluvälille.

Tuottajan/myyjän Collars-suojaus toimii käänteisesti. Tuottaja ostaa myyntioption toteutushintaan 32 € ja samanaikaisesti myy osto-option toteutushintaan 38 €.

Kuluttajan tai tuottajan suojautuessa hinnanlaskun varalle, Three-Way-Collar-strategialla, strategia on samanlainen tavallisen collar-strategian kanssa, mutta siinä pyritään pienentämään suojauksesta aiheutuvia kustannuksia myymällä ylimääräinen out-of-the-money-optio. Alentuneiden kustannusten vastapuolena on kuitenkin lisääntynyt riski siitä, että jos tuo ylimääräinen optio siirtyy in-the-money-tilaan, kustannukset nousevat.



Kuvio 11: Three-Way-Collars-strategialla suojattu a) kuluttaja- ja b) tuottajahinta

Esimerkki suojauksesta kuluttajan/ostajan kannalta Three-Way-Collars-strategialla. Lähtökohta on sama kuin Collars-strategiassa, mutta lisäksi myydään ylimääräinen osto-optio, toteutushintaan 40 €. Myyty optio tuo tuloa ja alentaa näinollen suojauskustannusta. Mikäli sähkön hinta kuitenkin nousee yli 40 €/n, alkaa se rasittamaan alun perin lukittua ostohintakattoa (Kuvio 11a).

Tuottajan/myyjän tilanteessa myydään ylimääräinen myynti-optio toteutushinnalla 30 €. Myyty optio tuo jälleen tuloa ja alentaa suojauskustannusta. Mikäli sähkön hinta kuitenkin laskee alle 30 €/n, alkaa tuo ylimääräinen optio alentamaan alun perin lukittua myyntihintaa (Kuvio 11b).

### 5.3 Staattinen ja dynaaminen suojaus?

Yksittäisillä johdannaisilla tapahtuva suojaus toteutetaan useimmiten kertasuojauksena valitulle ajanjaksolle (static hedging) eikä sitä pyritä aktiivisesti muuttamaan. Tarvittavat parametrit estimoidaan, suojaus toteutetaan ja suojauspositio pidetään sen eräntymiseen asti.

Usein suojaus kuitenkin tehdään yhdistelemällä useita johdannaisia. Kun suojaus toteutetaan laajemmalla suojausportfoliolla ja monimutkaisemmilla suojausstrategioilla, saatetaan suojausta joutua säättämään (rebalancing) ajan kuluessa. Dynaamisessa suojauksessa (dynamic hedging) suojaussalkkua seurataan jatkuvasti ja sitä muutetaan ja päivitetään tarpeen mukaan, mahdollisesti jopa päivittäin. Kreikkalaisten aakkosten delta kuvaa johdannaismarkkinoilla johdannaisen ja sen kohde-etuuden hintojen suhdetta. Delta-suojauksella pyritään suojaamaan portfolio siten, että sen kokonaisarvo ei muutu ajan kuluessa eikä kohde-etuuden pienten hinnanmuutosten vaikutuksesta (delta neutral) (Eydeland 2008). Kokonaisarvon muuttuessa määritellyn marginaalin ulkopuolella, portfolioa säädetään ja pyritään palauttamaan se delta-neutraaliksi.

Byström et. all (Byström 2003) on artikkelissaan tutkinut spot- ja futuurihintojen tilastollista jakaumaa pohjoismaisilla sähkömarkkinoilla sekä futuureilla toteutetun lyhyen tähtäimen suojauksen tuloksellisuutta. Futuureilla tapahtuva hintariskiltä suojautuminen edellyttää määrittelemään optimaalisen suojaussuhteen (optimal-hedge-ratio). Rahoitusmarkkinoilla tämä on perinteisesti estimoitu tutkimalla OLS (Ordinary-Least-Square)-menetelmällä kohde-etuuden ja futuurien hintojen välistä ehdotonta kovarianssia (unconditional-covariance) sekä eri futuurien välistä ehdotonta varianssia (uncontitional variance). Artikkelin mukaan ehdottomia mallinnuksia voidaan kritisoida mm. sillä, että perinteinen optimal-hedge-ratio maksimoi hyötyä ainoastaan tiettyjen oletusten vallitessa, muissa tapauksissa kyseessä on ainoastaan varianssin minimoiminen. Lisäksi, koska lähes kaikki rahoitus- ja raaka-ainepääomat sisältävät aikariippuvaisen komponentin, myös optimal-hedge-ratio on aikariippuvainen ja näinollen paremmin mallinnettavissa dynaamisilla ehdollisilla kovariansseilla ja variansseilla (contitional covariance/variance). Näitä mallinnetaan usein Eagle:n (Engle 1982) ARCH (Autoregressive-Conditionally-Heteroscedastic) ja ja Bollerslev:n (Bollerslev 1986) yleistetyllä GARCH (Generalized-ARCH) malleilla.

Artikkelissaan Byström et. all (2003) huomioi aikariippuvuuden vaikutuksen pohjoismaisten sähkömarkkinoiden tuottoihin aikajaksolla tammikuusta 1996, lokakuuhun 1999 ja tutki, kuinka aikariippuvuus vaikuttaa suojaukseen tehokkuuteen. Byström et. all vertaili myös perinteisten ehdottomien ja ehdollisten suojauksien eroa. Artikkelin päättyi tuloksiin, joissa futuureilla tapahtuva sähkön hinnan suojaus vähensi sähkösalkun tuottojen vaihtelua. Tämä riippumatta siitä, mitä tapaa käytettiin suojaussuhteen estimointiin. Tutkimus vahvisti myös, että varianssi ja suojaussuhde vaihtelevat merkittävästi yli ajan. Tuloksiltaan perinteinen yksinkertaisempi mallinnus toimi kuitenkin vähintään yhtä hyvin, jopa hieman paremmin kuin monimutkaisempi ehdollinen malli. Kun huomioidaan dynaamiseen malliin kuuluvat päivittäiset sähkösalkun muutokset ja niiden mukanaan tuomat kaupankäynti- ja futuurien selvityskulut, oli tämän tutkimuksen perusteella perinteinen OLS-mallinnus ja buy-and-hold-strategia suositeltavampi suojausvaihtoehto.

## 5.4 Muita suojausstrategioita

Sähkömarkkinoiden hintapiikit aiheutuvat yhtäkkisistä ylikysyntätilanteista. Sähkön kysynnän ylittäessä tarjonnan, tilannetta voidaan tasapainottaa joko lisäämällä tuotantoa tai supistamalla kulutusta. Mikäli sähkön toimittajat pystyisivät joustavasti sääntelemään sähkön kysyntää, se tarjoaisi tehokkaan työkalun sähkön hinnan tasapainottamiseen rajallisen kapasiteettilisäyksen rinnalle. Koska kulutuksen sääntely ei toimittajan toimesta ole mahdollista, sen tulee varautua tilanteeseen jossa se voi ylikysyntätilanteessa keskeyttää toimitussopimuksen. Tällainen interruptible-service-contract-toiminnallisuus voidaan rakentaa synteettisesti olemassa olevilla johdannaisilla. Callable-Forward-sopimus jäljittelee toimitussopimusta joka on mahdollista keskeyttää sähkön tuottajan (myyjän) toimesta (interruptible-service-contract) (Deng & Oren 2006). Yksi muunnelma callable-forward-sopimuksesta on lisätä siihen mahdollisuus aikaisempaan toteutukseen (interruptible service contract with early notification) (Deng & Oren 2006). Putable-Forward-sopimus jäljittelee toimitussopimusta joka on mahdollista keskeyttää sähkön kuluttajan (ostajan) toimesta (dispatchable independent power producer contract) (Deng & Oren 2006).

Ristiin suojaus (cross-hedging) on tilanne, jossa suojataan yhtä kohde-etuutta johdannaisella, joka perustuu toiseen etuuteen. Monesti tarve johtuu siitä, että markkinoilta ei löydy instrumentteja suojattavalle kohteelle. Esimerkiksi sähkön kulutuksen volyyimiriskiä voidaan osittain suojata lämpötilaan perustuvilla sääjohdannaisilla, koska näiden välillä on todettu olevan vahva korrelaatio (Cao & Wei 2004),(Pirrong & Jermakyan 2008). Spark-spread-optiot ovat suora esimerkki ristiin suojauksesta. Sähkön myyntihinnan ja voimalaitoksen polttoaineen (esim. maakaasun, öljyn tai kivihiilen) hintasuhdetta voidaan suojata siihen tarkoitetuilla spark-spread-optioilla, joita on markkinoilla runsaasti.

Useimmat suuret sähkön kuluttajat haluaisivat sähkösopimuksiinsa toisaalta joustavuutta kulutuksen mukaan, mutta kulutetulle määrälle kiinteän yksikköhinnan. Tämä on load-serving-full-requirement-sopimus. Vaikkakin ostajan kannalta suotuisa, tällainen sopimus kuitenkin altistaa sähkön tuottajan sekä hinta- että määräriskille. Ennustamattomien kulutuspiikkien tai toisaalta alhaisen kulutuksen ajanjaksojen oikeantasoinen suojaaminen perusjohdannaisilla on erittäin vaikeata ja johtaa helposti ali- ja ylisuojaustilanteisiin. Voidakseen suojata kuluttajien epävarmasta kysynnästä johtuvan volyyimiriskin, tuottajien olisi voitava hyödyntää kuluttajien kulutukseen perustuvia johdannaissuhteita. Tällaisia johdannaistuotteita ei kuitenkaan ole markkinoilla, joten näin toteutettu suojaus ei ole tehokkaasti

mahdollinen. Mikäli tuottaja kuitenkin haluaa tehdä asiakkaansa kanssa load-serving-full-requirement-sopimuksen, se voi yrittää suojata asemaansa muilla tavoin, kuten sääjohdannaisilla (cross-hedging).

Myös hintasäännöstellyillä markkinoilla sähkön tuottajat altistuvat sekä hinta- että volyyimiriskeille. Kuten edellä, volyyimiriskiltä ei pystytä suojautumaan kokonaan. Yleisesti käytetty (Woo ym. 2004) suojausvaihtoehto toteutetaan ns. minimaali-varianssi-suojauksella, käyttäen sähkön forward-sopimuksia ja sääjohdannaisia. Erään tutkimuksen mukaan (Oum ym. 2005), ongelmia aiheutuu, kun suojauksen tarkoituksena on maksimoida konkaavi hyötyfunktio. Vastauksena tähän ongelmaan tutkimuksessa on kehitetty nollakustannus suojausfunktio, jossa hyödynnetään kulutusmäärien ja spot-hintojen korrelaatiota. Tässä suojausstrategiassa käytetään perusjohdannaisia eli forward-sopimuksia ja useilla totutushinnoilla olevia osto- ja myyntioptioita (Deng & Oren 2006).

Tolling-sopimus on ns. strukturoitu sopimus. Siinä sähkölaitoksen omistaja myy sähkön tukkuostajalle oikeuden käyttää kyseistä tuotantolaitosta, ennalta määriteltyjen ehtojen puitteissa, parhaaksi katsomallaan tavalla. Käytännössä omistaja vuokraa tuotantolaitoksen ostajalle joka voi joko tuottaa tai olla tuottamatta lopputuotteita, omistajan saadessa kuitenkin kiinteän korvauksen sovitulta ajanjaksolta (Deng & Oren 2006).

## **6 Yleisimpien sähköjohdannaisten hinnoittelu ja suojauskustannus**

Kuten millä tahansa markkinalla, myös sähkön hintaa pyritään ennakoimaan ja sen muutoksiin varautumaan erilaisilla analyyseillä. Fundamentti-analyysi luottaa käytäntöjen ja markkinaoperaatioiden simulointiin. Tarkkaan määritellyissä skenaarioissa voidaan mallintaa kohtuullisen realistinen kuva tuotannon, siirtoverkkojen ja markkinoiden ekosysteemistä. Monimutkaisuutensa vuoksi fundamentti-analyysi on kuitenkin työläs ja vaatii paljon laskentatehoa. Tämä saattaisi olla perusteltua FTR:n ja FGR:n hinnoittelussa, mutta on liian monimutkainen muiden johdannaisten kohdalla (Deng & Oren 2006). Tekninen analyysi pyrkii mallintamaan markkinahintojen stokastista käyttäytymistä toteutuneiden hintatietojen ja tilastollisen analyysin avulla. Näitä mallinnustapoja ovat mm. OLS-regressioanalyysi, diskreetit aikasarjamallit, kuten GARCH ja sen muunnelmat, Markov-regime-switching-mallit, mean-reversion-mallit ja muut diffuusiomallit (Deng & Oren 2006). Teknisen analyysin mallinnuksesta löytyy useita akateemisia tutkimuksia myös sähkömarkkinoilta.

Mitä tahansa analyysiä käytetäänkin, sähkömarkkina asettaa omat haasteensa hinnoittelumallinnukseen. Vaikkakin sähköjohdannaisten, kuten muidenkin johdannaisten, hinnoittelussa kohde-etuuden

hinta ja etenkin hintavaihtelu ovat kaikkein merkittävimpiä tekijöitä, sähkön hintavaihtelu käyttäytyy erilailla kuin muissa rahoitusmarkkinoiden tuotteissa. Sähköjohdannaisilla on myös omanlaatuisensa korrelaatio, josta johtuvien niiden toisiinsa liittyvien kurssierojen (spread) merkitystä ei voi aliarvioida (Eydeland 2008). Merkittävä haaste energia- ja erityisesti sähkömarkkinoiden mallinnuksessa on myös historiallisen ja ennakoivan hintatietodatan rajoitettu määrä.

Johdannaisopimusten arvoa ja hintaa määriteltäessä markkinoilla tehdään yleensä selkeä jako sijoitustuotteisiin (investment assets) ja käyttö-/kulutustuotteisiin (consumption assets). Sijoitustuotteita käytetään yleensä ainoastaan rahoitustransaktioihin, markkinoilla on suuri määrä toimijoita ja yleisin toimitusmuoto on käteissuoritus. Raaka-ainemarkkinoilla kauppaa käydään pääsääntöisesti käyttötuotteilla, joissa markkinatoimijoiden määrä on rajallisempi ja monesti toimitusmuotona on fyysinen toimitus. Esimerkiksi öljynjalostamo ostaessaan forward-sopimuksen, se haluaa taata raakaöljyn riittävyyden omaksi raaka-aineekseen tulevaisuudessa. Käyttötuotteiden hintoja ja arvoja laskettaessa mukaan otetaan yleensä varastointi- ja toimituskustannukset (cost-of-carry-malli, esimerkiksi, öljy tai kulta). Sähkömarkkinoilla ei suoraviivaista sähkön asemointia sijoitus- tai käyttötuotteisiin voida tehdä ja molempien luokkien puolesta tutkimuksissa esiintyy kannanottoja puolesta ja vastaan. Yhden näkökannan mukaan sähkö on selkeä käyttötuote, koska sitä tuotetaan nimenomaan kulutukseen. Toisaalta kulutustuotetta pitäisi pystyä varastoimaan, joka sähkön tapauksessa ei ole isossa mittakaavassa mahdollista, vaan toimitus tapahtuu etukäteissopimuksin taattuun tuotanto- ja siirtokapasiteettiin, joista aiheutuvat kustannukset on sisällytetty sähkön spot-hintaan<sup>5</sup>. Toisaalta varastoitavuutta puolustetaan siten, että sähkön tuottamiseen tarvittavia raaka-aineita voidaan varastoida ja käyttää tarpeen mukaan, jolloin myös sähkö olisi ainakin välillisesti varastoitava tuote. Lisäksi pohjoismaisilla sähkömarkkinoilla tapahtuva sähköjohdannaisten kaupankäynti on mahdollista ainoastaan rahoitustoimituksiin perustuvilla sopimuksilla jotka ovat sijoitustuotteille tyypillisiä järjestelyjä.

## 6.1 Optio-hinnoittelu

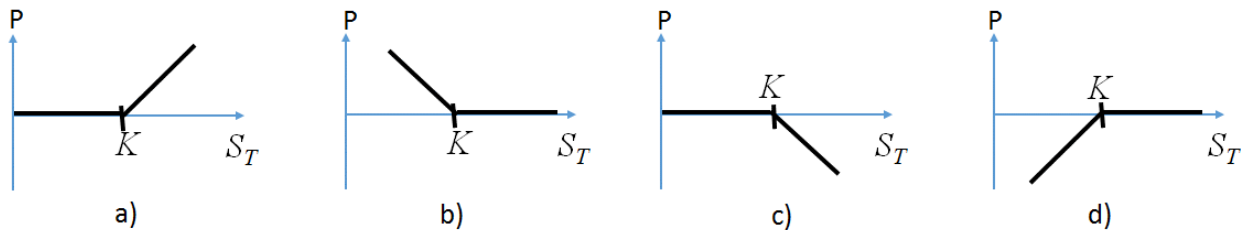
Optioiden perustyyppinä on neljä, ostettu tai myyty osto- tai myyntioptio. Sähköoptioiden tuottorakenne, kuten muutkin ehdot, ovat samanlaisia kuin muillakin rahoitusoptioilla. Esimerkiksi ostetun osto-option (long-call) perushinta määräytyy kaavasta  $\max(S_t - K, 0)$ , jossa  $S_t$  on kohde-etuuden arvo

---

<sup>5</sup> Rahoitusmarkkinoilla spot-hinta on yleensä sen hetkinen markkinahinta. Sähkömarkkinoilla sillä viitataan kuitenkin yleisimmin seuraavan päivän (day-ahead) toimitushintaan.



ajanhetkellä  $t$  ja  $K$  on ehdoissa sovittu hinta (strike price). Eri perustyyppien arvon muodostuminen on esitelty kuviossa 12 ja taulukossa 5.

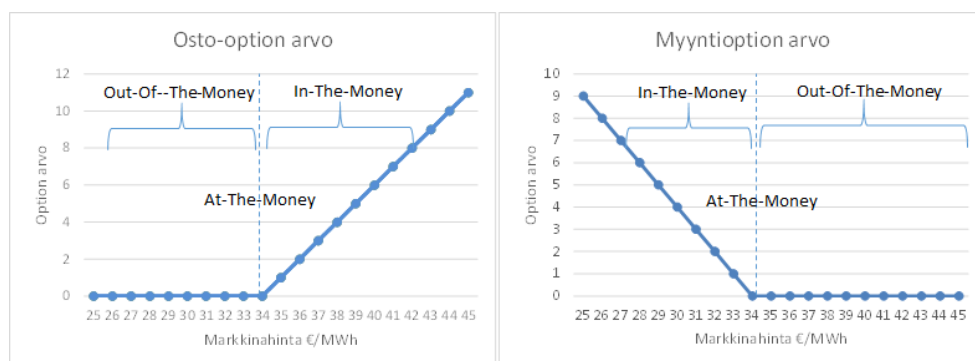


Kuvio 12: Ostetun osto(a)- ja myynti(b)-option arvon muodostuminen  
Myydyn osto(c)- ja myynti(d)-option arvon muodostuminen

	Eurooppalainen/Amerikkalainen		Aasialainen	
	Osto-optio (call)	Myyntioptio (put)	Osto-optio (call)	Myyntioptio (put)
<b>Ostettu (long)</b>	$\max(S_{\text{time}} - K, 0)$	$\max(K - S_{\text{time}}, 0)$	$\max(S_{\text{average}} - K, 0)$	$\max(K - S_{\text{average}}, 0)$
<b>Myyty (short)</b>	$\max(K - S_{\text{time}}, 0)$	$\max(S_{\text{time}} - K, 0)$	$\max(K - S_{\text{average}}, 0)$	$\max(S_{\text{average}} - K, 0)$

Taulukko 5: Optioiden arvokaavat

Optioiden terminologiassa at-the-money tarkoittaa tilannetta, kun markkinahinta on yhtä suuri option toteutushinnan kanssa. Kun markkinahinta on osto-option toteutushinnan yläpuolella, on optio in-the-money ja vastaavasti markkinahinnan ollessa toteutushinnan alapuolella, optio on out-of-the-money. Myyntioptiolla tilanteet ovat päinvastoin. Kuviossa 13 on esimerkki sekä osto-, että myyntioptiosta, joissa molempien toteutushinta on 34€.



Kuvio 13: Osto- ja myyntioption tilat

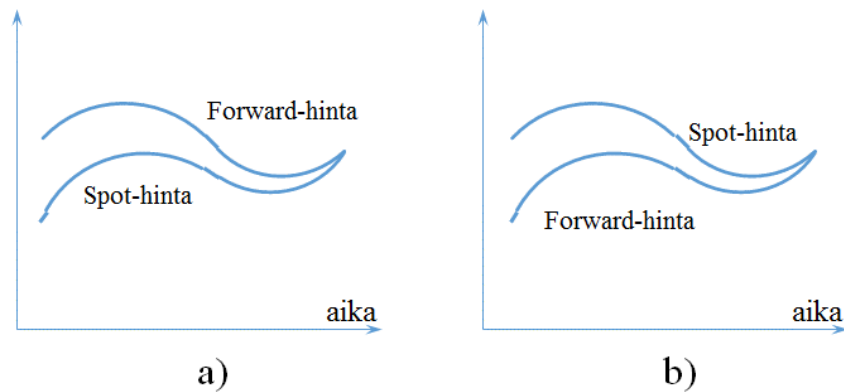
Option arvo ja hinta ovat myös eri asioita. Option arvolla tarkoitetaan tuottoa, jonka option haltia saisi, mikäli optio erääntyisi in-the-money-tilassa. Mikäli optio on out-of-the-money-tilassa erääntymispäivänään, optio erääntyy arvottomana. Option hintaan vaikuttaa lisäksi optio-premio, joka muuttuu ajan funktiona.

Vuonna 1973 Fischer Black, Myron Scholes ja Robert Merton julkaisivat artikkelinsa ”The pricing of options and corporate liabilities” (Black & Myron Scholes 1973). Mallia alettiin käyttämään yleisesti rahoitusmarkkinoilla optioiden hinnoitteluun ja se oli osaltaan edesauttamassa optioiden räjähdysmäistä yleistymistä rahoitusmarkkinoilla. Malli olettaa, että lyhyellä aikavälillä kohde-etuuden suhteelliset muutokset ovat normaalijakautuneet ja absoluuttiset muutokset noudattavat log-normaalijakaumaa. Option hintaan vaikuttavat keskeisimmät parametrit ovat kohde-etuuden hinta, hinnan volatilitetti ja option erääntymisaika. Koska eurooppalainen optio voidaan toteuttaa ainoastaan sen erääntymishetkenä, Black-Scholes-Merton-mallia käytetään etenkin niiden hinnoittelun mallintamiseen. Mallista on myöhemmin kehitetty lukuisia variaatioita, mm. amerikkalaisien optioiden hinnoitteluun. Aasialaisille optioille ei ole olemassa tarkkaa analyttistä hinnoittelumallia. Näitäkin hintoja voidaan kuitenkin estimoida olettamalla kohde-etuuden hinnan olevan log-normaalisti jakautunut (Hull 24.10). Vuonna 1997 Robert Merton ja Myron Scholes palkittiin mallistaan taloustieteen Nobel-palkinnolla. Fisher Black oli tuolloin jo kuollut ja Nobel-palkinnon sääntöjen mukaisesti, palkinto voidaan myöntää vain elossa oleville henkilöille.

## **6.2 Futuuri-hinnoittelu, Convenience-Yield ja Riskipremio**

Poikkeuksena perinteisiin rahoitusmarkkinoihin, sähkömarkkinoilla futuurin toteutushinta lasketaan yleisesti toimitusajan keskiarvona (esim. kuukausi, Kuvio 7), ei sopimuksen päättymispäivän arvona. Finanssimarkkinoilla forward- ja futuuri-sopimukset noudattavat pääpiirteittäin samoja hinnoittelumalleja. Eroja saattaa syntyä tilanteessa, joissa korkomarkkinat vaihtelevat voimakkaasti lyhyellä aikajaksolla ja kohde-etuuden hinta on vahvasti korreloitunut käytettävään korkoon. Tällöin, mm. päivittäisestä selvityksestä johtuen, futuurin teoreettinen hinta voi poiketa hieman forward hinnasta, vaikuttaen näin arvo- ja tuottolaskelmiin. Käytännössä nämä vaikutukset ovat kuitenkin useimmiten niin pieniä, että ne voidaan sivuuttaa päivittäisissä arvostuslaskelmissa. Useimmiten forward- ja futuuri-sopimukset arvostetaan siis samalla lailla (Hull cop. 2009). Tästä syystä, jatkossa tässä työssä futuuria käytetään synonyyminä sekä forward- että futuurisopimuksille.

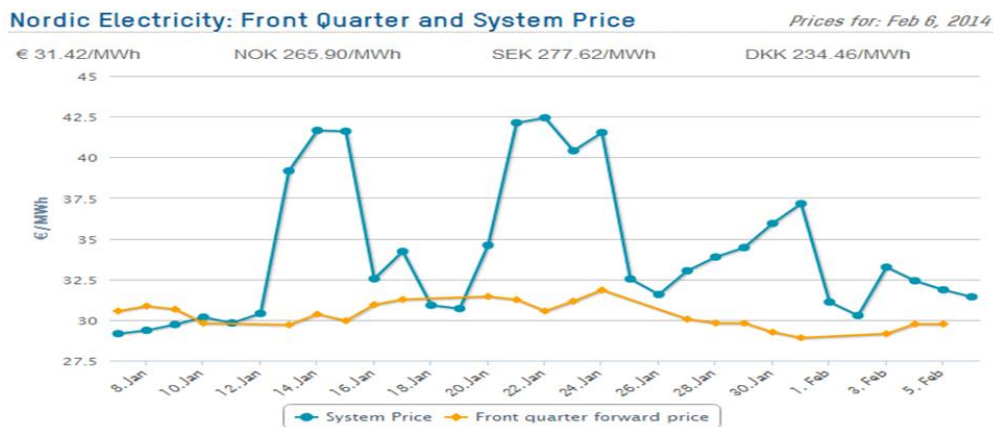
Futuuri-hinta on aina se toimitushinta, joka sopimuksella olisi kulloisellakin hetkellä, mikäli sopimus neuvoteltaisiin sillä hetkellä. Aikafunktiosta johtuen eripituisten sopimusten hinta vaihtelee. Mitä lähemmäksi toteutushetkeä tullaan, sitä pienemmäksi aikafunktion vaikutus tulee ja futuuri- ja spot hinnat konvergoituvat lopulta toisiinsa (Kuvio 14).



Kuvio 14: Spot- ja a) long- ja b) short-futuuri-hintojen konvergoituminen.

Lähde: Hull 2012

Vaikkakin sähkön hinta on hyvin vaihteleva, sähköjohdannaisten hinta vaihtelee huomattavasti vähemmän (Kuvio 15). Tämä johtuu mm. sähkön varastointivaikeuksista, jotka vaimentavat spot-hinnan ja tulevan (forward/future) hinnan suhdetta. Lisäksi spot-hintaan eniten vaikuttavat markkinashokit, esimerkiksi sääolosuhteet, ovat lyhytaikaisia ja ohimeneviä.



Kuvio 15: Esimerkki sähkön spot- ja forward-hinnan suhteesta

Lähde: NasdaqOMX

Myös joidenkin tutkimusten mukaan (Bessembinder & Lemmon 2002), (Pirrongo & Jermakyan 2008) suojaustasoissa olemassa oleva merkittävä epätasapaino vaimentaa hintavaihtelua. Tässä epätasapainossa hinnannousua odottavat markkinatoimijat (long hedgers) ovat enemmistönä.

Futuurien hinnoitteluun liittyviä tutkimuksia ja ehdotuksia eri hinnoittelumalleille on runsaasti. Käytännössä hinnoittelu useimmiten perustuu joko varastointi- tai riskipreemioteoriaan (Kristiansen 2012).

Varastoitavien hyödykkeiden ja raaka-aineiden hinnanmuodostuksessa varastot ovat merkittävä osatekijä (Botterud ym. 2010). Varastointiteorian mukaan varastoinnilla saavutettavilla tuotoilla ja siitä aiheutuvilla kustannuksilla selitetään kohde-etuuden nykyisen ja tulevan hinnan eroa. Tämä on etu tai hyöty siitä, että kohde-etuus konkreettisesti omistetaan verrattuna esimerkiksi siihen oikeuttavan johdannaissopimuksen omistukseen ja se voidaan ajatella likviditeettipreemiona. Se myös edustaa etuoikeutta kohde-etuuteen ylikysyntätilanteessa, joka saattaa aiheutua esimerkiksi odottamattomasta kysynnän kasvusta tai mistä tahansa muusta syystä ja heijastaa markkinoiden odotuksia kohde-etuuden saatavuudesta tulevaisuudessa. Olettaen, että markkinoilla ei ole futuuri- ja spot-hinnoissa arbitraasi-mahdollisuuksia, futuurin hinta määräytyy varastointiteorian mukaisesti:

$$F_{t,T} = S_t * e^{(r_T + u_T - y_T)}$$

jossa  $F_{t,T}$  on futuurin hinta maturiteetilla  $T$  ja  $S_t$  on spot-hinta, molemmat ajanhetkellä  $t$ .  $r_T$ ,  $u_T$  sekä  $y_T$  ovat maturiteetista riippuvat vuotuinen riskiton korko, varastointi kustannus sekä varastoinnista saatava tuotto, vastaavassa järjestyksessä. Määriteltäessä varastoinnilla saavutettavaa nettotuottoa, saadaan kaavaa yksinkertaistettua olettamalla vuotuinen riskiton tuotto ( $r_T$ ) nollassi. Tämä voidaan tehdä laskettaessa maturiteetiltaan erittäin lyhyiden, kuten päivien ja viikkojen kestoisten futuurien hintoja, jolloin koron vaikutus on marginaalinen (Botterud ym. 2010). Toisaalta sama oletus voidaan tehdä myös pidempien maturiteetin futuurien osalta, kun muistetaan että nyt on kyseessä nettotuotto riskittömän koron päälle. Ottamalla luonnollinen logaritmi yhtälön molemmin puolin ja siirtämällä absoluuttiset arvot yhtälön vasemmalle ja logaritmi-arvot oikealle puolelle saadaan:

$$y_T - u_T = \ln(S_t) - \ln(F_{t,T})$$

jossa yhtälön vasen puoli on varastoinnista saavutettavan hyödyn ja siitä aiheutuvien kustannusten erotus. Tätä nettohyötyä merkitään yleisesti termillä Convenience-Yield (CY):

$$CY = \ln(S_t / F_{t,T})$$

Pohjoismaisilla sähkömarkkinoilla, joilla vesivoimalla tuotetun sähkön suhteellinen osuus on suuri, varastointiteoriaa käytettäessä oletetaan että sähköntuotannossa voidaan epäsuorasti laskea sekä vesivarantojen varastointikustannus että siitä saatava tuotto ja sitä myöten Convenience-Yield.

Sähkötutuurien hinnoittelussa epäsuoran varastoinnin oletus usein sivuutetaan ja käytetään oletusta, jossa sähköä ei voida millään tavalla varastoida merkittäviä määriä taloudellisesti tehokkaasti. Tästä lähtökohdasta katsoen hinnoittelussa voidaan käyttää riskipreemioteoriaa, jossa sähkötutuurin hinnan katsotaan heijastavan odotettua spot-hintaa toimitusjakson aikana huomioden myös vaihtelevan riskipreemion (Huisman & Kilic 2012). Yksi tapa ymmärtää riskipreemiota on ajatella futuurisopimusta ”normaalina” rahoitusmarkkinoiden sijoitustuotteena esimerkiksi osakkeena ja verrata siitä saatavaa tuottoa (osinkoa) yleiseen osakemarkkinoiden kehitykseen. Jos tuotto on positiivisesti korreloitunut, on tuotolla positiivinen systeimiriski ja odotettu tuotto on suurempi kuin riskitön korko. Negatiivinen korrelaatio tarkoittaa myös riskipreemion olevan negatiivinen. Useimpien raaka-aineiden ja teollisten hyödykkeiden hinnoilla on positiivinen korrelaatio yleiseen taloustilanteeseen koska vahva talouskasvu johtaa kysynnän kasvuun ja sitä myöten korkeampiin hintoihin (Pindyck 2001). Näin ollen myös riskipreemion voidaan pääsääntöisesti olettaa olevan positiivinen. Riskipreemio on siten korvaus tulevan toimitushinnan epävarmuudesta verrattuna tilanteeseen, jossa hinta olisi kiinnitetty etukäteen. Nyt hinnoittelussa futuurin hinta saadaan kaavasta:

$$F_{t,T} = E_t[S_{t+T}] * e^{(r_T - i_T) * T} = E_t[S_{t+T}] * e^{-RP_T}$$

jossa  $F_{t,T}$  on futuurin hinta maturiteetilla  $T$  ja  $E_t[S_{t+T}]$  on spot-hinnan odotettu arvo futuurin erääntymishetkellä  $t+T$ .  $r_T$  on vuotuinen riskitön korko ja  $i_T$  on riskikorjattu diskonttokorko. Näinollen futuurin hinta on yhtäsuuri odotetun spot-hinnan kanssa ainoastaan kun riskikorjattu diskonttokorko on yhtäsuuri riskittömän koron kanssa. Näiden erotessa toisistaan muodostuu riskipreemio  $RP_T$ . Logaritmoimalla yhtälön molemmat puolet ja uudelleen järjestelemällä kuten Convenience-Yield:ssä edellä, saadaan riskipreemion laskukaavaksi:

$$RP_{t,T}^* = \ln(E_t[S_{t+T}] / F_{t,T})$$

Tätä odotetun spot-hinnan suhdetta futuurihintaan kutsutaan yleisesti termillä Ex-Ante riskipreemio. Ex-Ante riskipreemion määrittelyä vaikeuttaa kuitenkin ennustetun spot-hinnan määrittely. Ennuste voidaan tehdä mitä erilaisimmilla ekonometrisillä mallinnusmenetelmillä, eivätkä eri menetelmien antamat tulokset ole välttämättä vertailukelpoisia. Sen sijaan riskipreemiota voidaan estimoida myös

käyttämällä Ex-Post riskipreemiota, jossa ennustettu spot-hinta korvataan futuurin toimitusajankohdan mukaisella toteutuneella spot-hinnalla  $S_{t+T}$ .

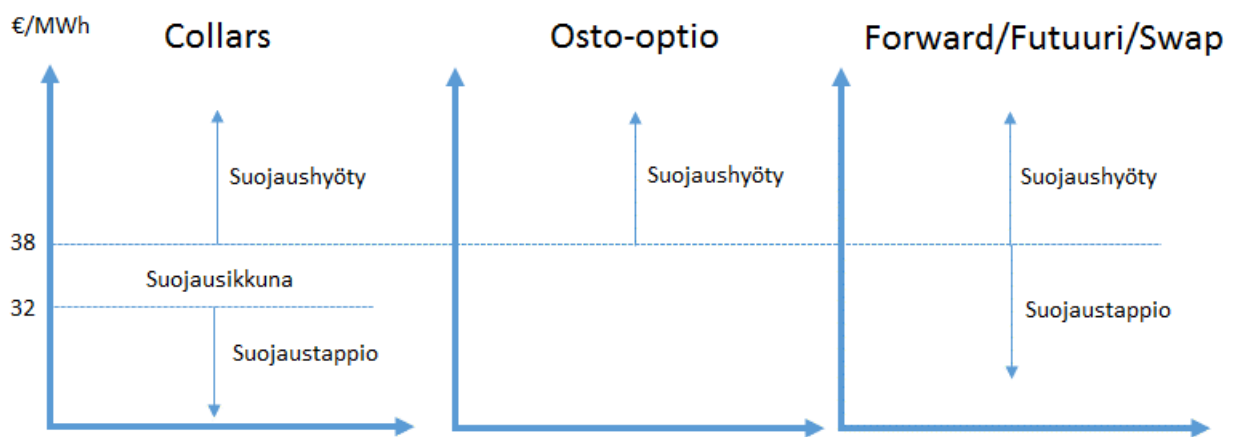
$$RP_{t,T} = \ln(S_{t+T} / F_{t,T})$$

Teorian mukaisesti spot- ja futuurihintojen suhde riippuu markkinatoimijoiden riskinkarttamisasteesta. Jos myyjät ovat enemmän riskiä kaihtavia kuin ostajat, riskipreemion tulisi olla keskimäärin positiivinen. Eli myytyjen futuurisopimusten hinta tulisi olla keskimäärin alhaisempi, kuin futuurin erääntymishetkellä toteutunut spot-hinta. Tämä on raaka-ainemarkkinoilla tyypillinen tilanne, koska tuottajat ovat yleensä valmiita hyväksymään alemman hinnan futuurisopimuksista, taatakseen näin ennalta määrätyn tulotason tulevaisuudessa (Weron & Zator 2014). Mikäli kuitenkin raaka-aineen kuluttajille kiinteä ostohinta tulevaisuudessa on tärkeämpää kuin tuottajille myyntihinnan takaaminen, kääntyy asetelma toisinpäin ja keskimääräinen riskipreemio muuttuu negatiiviseksi.

Botterund & all (Botterud ym. 2010) tutkivat pohjoismaisten sähkömarkkinoiden futuuri- ja spot-hintoja ja totesivat, että markkinoilla on taipumus hinnoitella futuurien hinnat korkeammalle kuin spot-hinta ajanhetkellä  $t$ . Keskimääräinen Convenience-Yield on siis negatiivinen, mutta vaihtelee vuodenajan mukaan ja riippuu myös vesivarantojen määrästä. Keskimääräinen toteutunut riskipreemio sähkön futuurimarkkinoilla on myös negatiivinen. Molemmat löydökset ovat ristiriidassa useimpien muiden raaka-ainemarkkinoiden kanssa. Botterund & all ehdottavat, että erot riskipreferensseistä ja mahdollisuudet hyödyntää lyhyen tähtäimen hintavaihteluja aiheuttavat eroavaisuudet kysynnässä ja tarjonnassa ja voivat osaltaan selittää havaittua futuuri- ja spot-hintojen suhdetta. Lisäksi he toteavat analyysinsä osoittavan, että futuuri- ja spot-hintojen suhde on selkeästi yhteydessä koko pohjoismaisen sähköntuotantojärjestelmän fyysiseen tilaan, kuten jokien vesivirtaamiin, vesivarantojen tasoihin ja kysyntään. Botterund & all väittävät myös, että sähkömarkkinoiden fyysiset rajoitteet, kuten siirtoverkkojen kapasiteetti ja reaaliaikaisen kysynnän ja tarjonnan tasapainotus, aiheuttavat sen, että johdannaistuotteissa lyhyen pitoajan strategiat tulevat hallitseviksi ja sitä myöten todennäköisesti vääristävät teorian mukaista riskipreemiomallia. Lisäksi, koska pohjoismaisilla sähkömarkkinoilla vesivoimalla tuotetun sähkön osuus on erittäin suuri, he väittävät että varastointikustannusten osuus ja Convenience-Yield ovat myös relevantteja osatekijöitä hinnoittelussa, josta johtuen varastointiteoria olisi käyttökelpoinen arvioitaessa pohjoismaisten sähkömarkkinoiden futuurihinnoittelua.

### 6.3 Suojauksen kustannus

Kuviossa 16 on graafisesti kuvattu kolmea eri tavalla toteutettua suojausta, kun suojaushinnaksi on määriteltä kaikille sama hintataso (38 €/MWh). Collars antaa joustavan suojausikkunan. Markkinahinnan noustessa ikkunan yläpuolella saadaan lisähyötyä, mutta sen alapuolella menetetään hinnanlaskun muuten tuoma hyöty. Osto-optio antaa parhaimman suojauksen ja joustavuuden. Markkinahinnan noustessa, hinta on lukittu 38 €:n, kun taas hinnan laskiessa, optio voidaan jättää käyttämättä ja hyödyntää alhaisempaa markkinahintaa. Forward-, futuuri-, ja Swap-sopimukset lukitsevat hintatason tarkasti suojattavaan hintaan. Joustavuus näkyy myös hinnoittelussa. Osto-optio on näistä kallein, Collars edullisempi, Forward/Futuuri/Swap-sopimukset edullisimmat (Simkins & Simkins cop. 2013).



Kuvio 16: Eri johdannaisten suojausesimerkkejä.

Suojauksesta aiheutuvia käytännön kokonaiskustannuksia arvioitaessa tulisi pystyä summaamaan kaikki suojausaktiviteetteihin liittyvät toiminnot ja niistä aiheutuvat kustannukset. Näitä ovat mm. kaupankäyntijärjestelmät, henkilöstön palkat, itse kaupankäynnistä aiheutuvat kustannukset ja monet muut tekijät. Tässä työssä suojauksen kustannuksia arvioidaan kuitenkin futuurisuojauksesta maksettavan riskipreemion avulla. Työn empiirisessä osiossa, kappaleessa 7 on mallinnettu riskipreemion olemassa oloa, sen suhteellista kokoa ja siihen vaikuttavia tekijöitä.

## 7 Empiirinen mallinnus

Työn empiirisessä osiossa käydään ensin läpi käytössä ollutta lähdeaineistoa ja sen muokkausta tutkimukseen soveltuvaksi. Itse tutkimus alkaa eri maturiteetin futuurien riskipreemioiden olemassaolosten testauksella. Ensimmäisessä määritellään näiden laskentatavat ja seuraavaksi testattava hypoteesi. Seuraavaksi testataan sähkön spot- ja futuurihintoihin vaikuttavia tekijöitä ja tämän jälkeen riskipreemioita testataan vastaavilla selittäjillä. Lopuksi pyritään tekemään yhteenveto johtopäätöksistä, joita tutkimustuloksista voidaan mahdollisesti tehdä.

Testauksella pyritään ensisijaisesti selvittämään sähköfutuureilla tapahtuvaa suojauskustannusta. Tähän liittyen selvitetään kumpi markkinaosapuolista, sähkön tuottajat vai kuluttajat ovat enemmän riskinkaihtajia. Ensimmäistä selvitetään testaamalla onko pohjoismaisilla sähkömarkkinoilla tilastollisesti merkitsevästi nollasta poikkeavaa riskipreemiota. Tästä saadaan selville myös riskipreemion kokoluokka, joka on samalla suojauskustannus. Edelleen saaduista tuloksista voidaan riskipreemion etumerkistä päätellä sähkön tuottajien ja kuluttajien suhde riskinkaihtamiseen.

Lisäksi mallinnetaan eri selittäjien vaikutusta spot-hintoihin. Alkuoletuksena on kysynnän ja tarjonnan tasapainomallin mukaisesti, että esim. varantojen määrä on käänteisesti korreloitu hintaan. Eli varantojen lasku aiheuttaa hinnan nousua ja päinvastoin. Vastaavasti mallin mukaisesti oletetaan että tuotantoraaka-aineiden hinta ja sähkön kulutuskysyntä ovat positiivisesti korreloituneita hintaan. Näiden nousun odotetaan nostavan myös hintaa ja päinvastoin.

Lopuksi testataan näiden selittäjien vaikutusta suoraan riskipreemioon, jolloin näitä vaikutuksia voisi mahdollisesti hyödyntää tulevien riskipreemioiden ennustamisessa.

Laskenta- ja lähdeaineiston muokkaustyökaluna on ollut pääsääntöisesti Microsoft Excel ja regressiomallinnuksessa OxMetrics PcGive.

### 7.1 Käytetty aineisto

Analyyseissä on käytetty aineistona sähkön spot-hinnan ja sähköfutuuriin päiväkohtaisia päätöskursseja, vesivaranto- ja vesivirtaustasoja, sähkön kulutuskysyntää sekä hiilen spot-hintatietoja. Hiilen hintatiedot ovat Thomson Reuters Data Stream-tietokannasta ja ovat päivittäisiä päätöskursseja Intercontinental Exchange (ICE) raaka-ainepörssistä. Muu aineisto on alun perin peräisin Nord Pool ja Nasdaq-OMX-Commodities sähköpörssistä ja se on kerätty ja ylläpidetty Aalto-yliopistossa. Kaikki



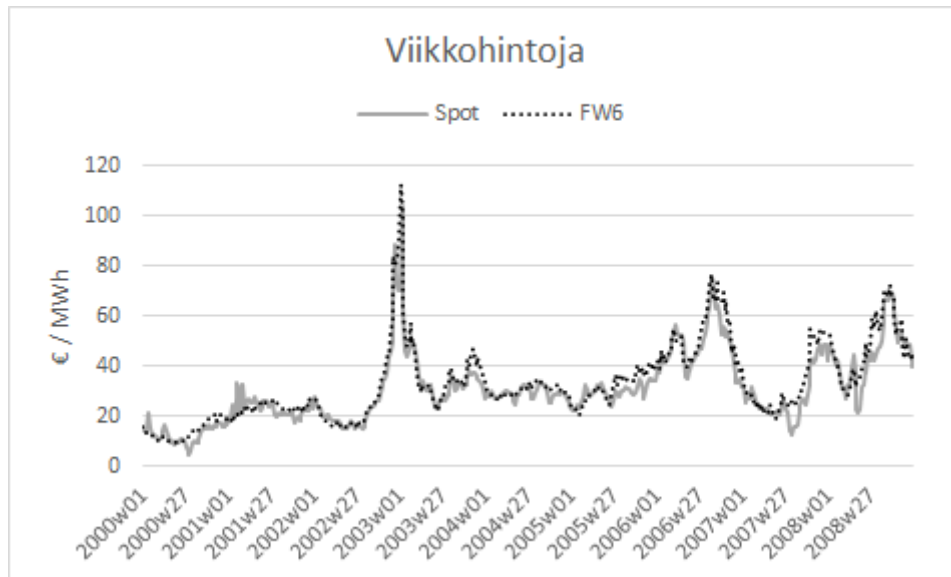
aineisto on saatu Janne Peljolta, joka on vuoden 2013 pro-gradu-tutkielmassaan tutkinut sähköfutuuri-  
rien hinnoittelua.

Sähkön spot- ja futuurihinnat, vesivarannot ja kulutuskysyntätiedot ovat yhdeksän vuoden periodilta  
vuoden 2000 alusta vuoden 2008 loppuun. Pohjoismaisissa sähköpörssissä käytettiin valuuttana  
Norjan kruunua vuoden 2005 loppuun josta lähtien valuuttana on ollut Euro. Kaikki futuurihinnat  
ennen vuotta 2006 on muutettu euroiksi käyttämällä Euroopan keskuspankin julkaisemia päivittäisiä  
vaihtokursseja (ECB 2014).

Nasdaq-OMX-Commodities johdannaispörssissä sähköfutuuri-  
kaupankäynti on rajoitettu normaaleihin arkipäiviin. Käytetyn viikkoaineiston lähtökohdaksi on otettu sähkön viikkofutuuri-  
viikon viimeisen kaupankäyntipäivän päätöskurssi. Viikkofutuuri-  
lähtöaineisto on yhdistelty yhdestä kuuteen viikon (FW1-FW6) futuuriaineistoksi maturiteetin mukaan. Tämä on tehty siten, että meneillään  
olevalla viikolla ( $t=0$ ) käytetään yhden viikon sähköfutuuri-  
arvona seuraavalla viikolla toimitettavaksi erääntyvän futuuri-  
päätyshintoja (FWT, F=Future, W=Week, T=1  $\rightarrow$  FW1). Vastaavasti kahden viikon sähköfutuuri-  
arvona käytetään edellisestä seuraavan viikon aikana toimitettavaksi erääntyvän futuuri-  
hintoja ja niin edelleen aina kuuden viikon päästä erääntyvään viikkofuturiin (FW6)  
asti. Aina viikon vaihtuessa T pienenee yhdellä, jolloin futuurihinnan ryhmittely kyseisellä viikolla  
muuttuu FW6  $\rightarrow$  FW5, ... FW2  $\rightarrow$  FW1. Ennen viikonvaihdetta ollut FW1-futuri siirtyy toimituk-  
seen (FW1  $\rightarrow$  FW0) ja poistuu kaupankäynnistä. Viiden viikon futuureista puuttui yhden (viikko  
36/2003) ja kuuden viikon futuureista kahden viikon (viikot 35/2003 ja 36/2003) lähtöaineisto. Nämä  
johtunevat ehkä siitä, että kyseisinä päivinä näillä futuureilla ei ole toteutunut yhtään kauppaa tai  
aineistohaussa tapahtuneista virheistä. Puuttuvat arvot on lisätty analyysiaineistoon valitsemalla puut-  
tuvien tietojen lähiviikoilta lähimmäksi osuneiden spot-hintojen vastaavat viiden ja kuuden viikon  
futuurihinnat. Tämä on tehty siksi että analyysityökaluna käytetty OxMetrics vaatii viikkoaineiston  
täysinä 52 viikon sekvensseinä. Mikäli vuodenvaihe osuu keskelle viikkoa siten, että Excel:n kalen-  
teritoiminto tunnistaa viikon numeroksi 53 on tämä aineisto poistettu samasta syystä.

Nord Pool sähköpörssissä käydään kauppaa ympäri vuorokauden seitsemänä päivänä viikossa läpi  
vuoden ja sähkön spot-hinnat noteerataan vuorokauden jokaiselle tunnille. Nord Pool:n julkaisemat  
päivittäiset spot-hinnat on laskettu vuorokauden tuntihintojen keskiarvona. Nämä päivähinnat on  
edelleen keskiarvotettu viikkohinnoiksi seitsemältä päivältä viikossa.

Kuviossa 17 on kuvion selkeyden vuoksi esitetty vain spot-hinnan ja kuuden viikon viikkofutuurin kuvaajat. Taulukossa 6 on spot-hinnan ja kaikkien viikkofutuurien keskilukuja viikkoaineistosta laskettuna.



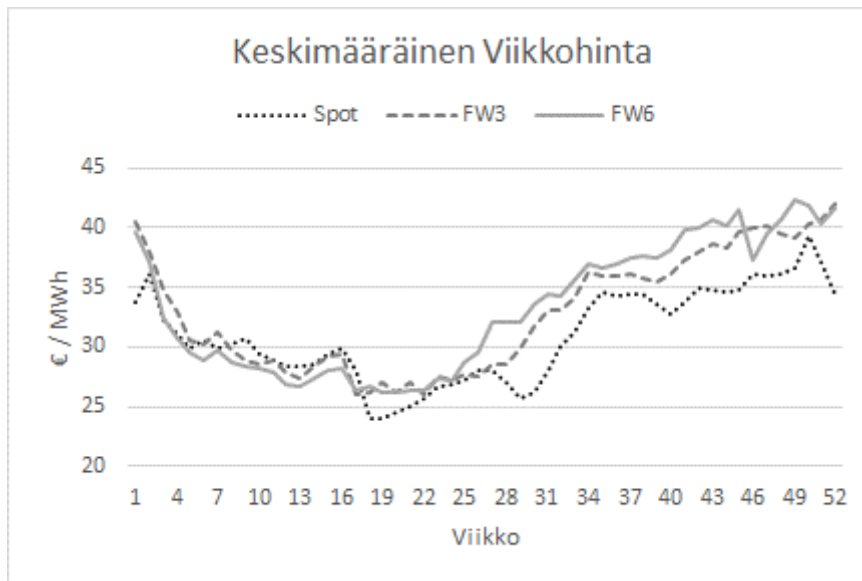
Kuvio 17: Spot- ja FW6-hintoja

	Spot	FW1	FW2	FW3	FW4	FW5	FW6
Otoskoko	468	468	468	468	468	468	468
Keskiarvo	30,97	31,69	32,42	32,86	33,10	33,24	33,27
Mediaani	28,64	28,83	29,50	29,86	30,07	30,16	30,39
Keskihajonta	14,06	15,19	15,53	15,63	15,70	15,71	15,58
Minimi	4,78	5,65	6,84	7,81	8,63	8,69	8,86
Maksimi	103,65	120,63	121,60	120,23	119,54	118,16	113,01

Taulukko 6: Spot-hintojen ja viikkofutuurien viikkohintojen (€/MWh) keskilukuja.

Otoskoko viikkoaineistoksi muokattuna sisältää 468 havaintoyksikköä ja kattaa ajanjakson 2000 – 2008 kokonaisuudessaan. Futuurien keskiarvo ja mediaani ovat loivasti nousevia maturiteetin kasvaessa, ollen jatkuvasti spot-hinnan yläpuolella. Minimi- ja maksimiarvoista voi havaita sähkömarkkinalle tyypillinen erittäin suuri hintavaihtelu.

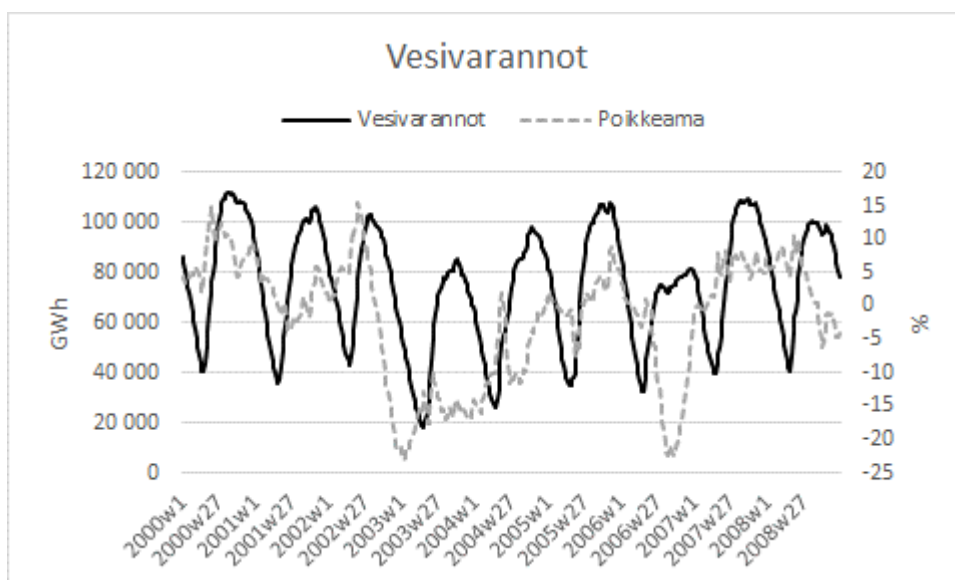
Kuviossa 18 on sähkön spot-hinta sekä kolmen ja kuuden viikon viikkofutuurin hinta keskiarvotettuna kalenteriviikkokohtaisesti.



Kuvio 18: Spot, kolmen ja kuuden viikon futuurin kalenteriviikoittaiset keskihinnat (2000 – 2008).

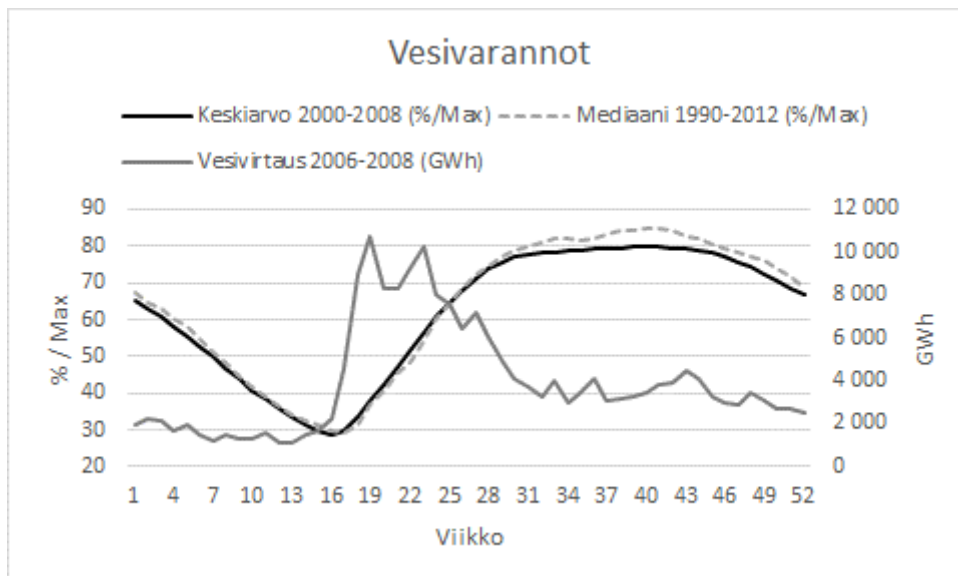
Kaikki hinnat laskevat vuoden ensimmäisellä puoliskolla, kääntyen nousuun kesällä ja saavuttaen huippunsa vuoden vaihteessa. Tähän vaikuttavia tekijöitä analysoidaan myöhemmin tarkemmin.

Vesivaranto- ja vesivirtausaineisto on saadussa lähtömateriaalissa valmiiksi viikkoaineistona. Viikoittaisista vesivarantotasosta on laskettu poikkeama pitkän aikavälin mediaanitasoihin. Tämä mediaani on NordPool-sähköpörssin ilmoittama vuosien 1990 – 2012 mediaani. Kuviossa 19 on vesivarantojen kokonaismäärän (GWh) ja poikkeaman (%) vaihtelu vuosilta 2000 – 2008.



Kuvio 19: Vesivarannot vuosilta 2000 – 2008

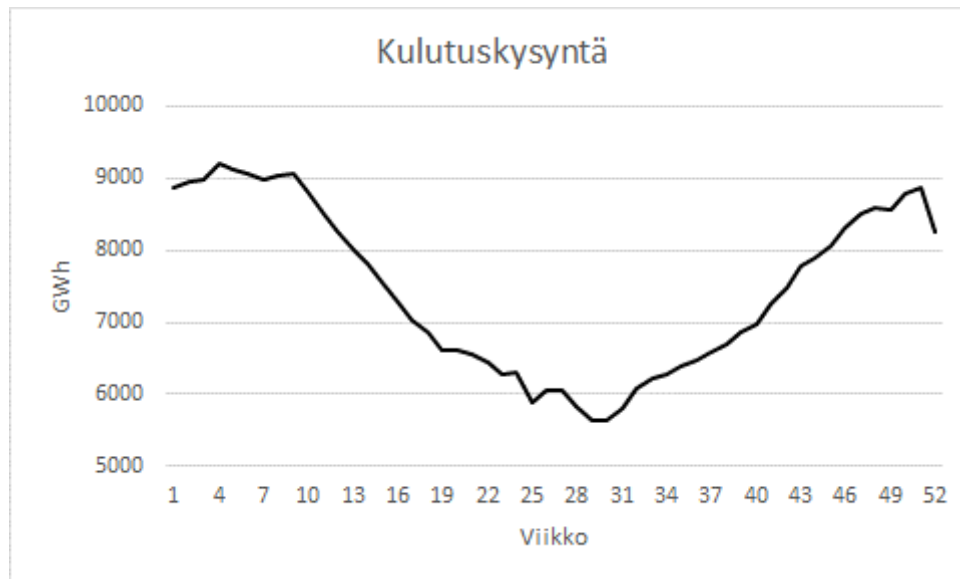
Kuviossa 20 on esitetty vesivarantojen suhteellisen kokonaismäärän keskimääräiset viikkovaihtelut ja mediaani. Lisäksi kuviossa on viikoittaiset vesivirtaustasot..



Kuvio 20: Spot-hinnan ja vesivarantojen kokonaismäärän viikkovaihtelu.

Molemmista edellisistä kuvioista nähdään vesivarantojen voimakas kausivaihtelu. Vesivarannot laskevat alkuvuodesta kevääseen. Lumien sulamisvesien johdosta vesivirtaus nousee jyrkästi aiheuttaen kokonaistasojen nousun kesää kohti mentäessä. Syyssateiden voisi odottaa vaikuttavan lisäävästi varantoihin ja virtauksiin. Pitkän ajan mediaanissa pientä nousua kokonaisvarannoissa onkin, mutta tutkimusaineiston aikajakson keskiarvossa nousu on tuskin havaittavaa. Vesivirtausmäärissä loivaa nousua on havaittavissa viikkojen 37 ja 43 välillä. Molemmat ovat kuitenkin marginaalisia verrattuna lumen sulamisvesien aiheuttamaan vaihteluun. Vesivirtausaineistoa on käytettävissä vuoden 2006 alusta vuoden 2008 loppuun. Tästä aineistosta on laskettu viikoittainen poikkeama näiden vuosien viikoittaisiin keskiarvoihin.

Sähkön kulutuskysyntäaineisto on käytettävissä vuosilta 2000 – 2008. Kuviossa 21 on esitetty kysynnän keskimääräiset viikkovaihtelut.

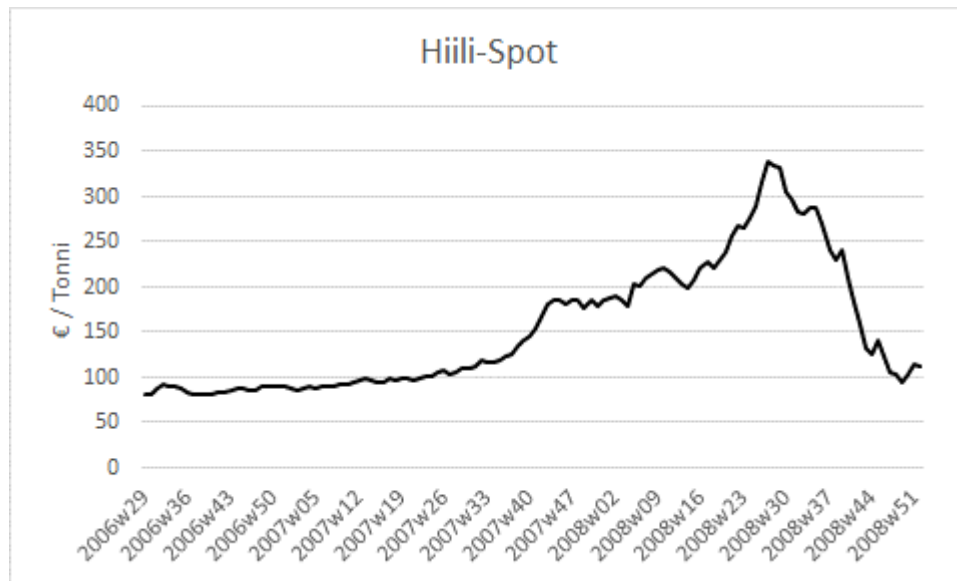


Otoskoko	Keskiarvo	Mediaani	Keskihajonta	Minimi	Maksimi	(GWh)
468	7 462	7 408	1 193	5 364	9 849	

Kuvio 21: Kysynnän viikkovaihtelu 2000 – 2008.

Kysyntä on huipussaan talvikuukausina ja minimissään kesäkuukausina, johtuen luonnollisesti pohjoismaiden suuresta lämpötilavaihtelusta talvi- ja kesäkausien välillä ja siitä johtuvasta lämmitystarpeen vaihtelusta.

Intercontinental Exchange (ICE) raaka-ainepörssistä saadut hiilen hintatiedot noteerataan Yhdysvaltain dollareissa. Päivittäiset päätöskurssit on muokattu viikkohinnoiksi vastaavalla tavalla spot- ja futuurihintojen kanssa ja dollarit on konvertoitu euroiksi käyttämällä Euroopan keskuspankin julkaisemia päivittäisiä vaihtokursseja (ECB 2014). Hiiliaineistoa on käytettävissä heinäkuusta 2006, jolloin alkuperäisestä 620 päivän otoskoosta muodostuu 128 havaintoyksikön viikkoaineisto. Kuviossa 22 on esitetty hiilen spot-hinnan kuvaaja ja sen keskilukuja.



Otoskoko	Keskiarvo	Mediaani	Keskihajo	Minimi	Maksimi (€/Ton)
128	153,62	118,96	71,49	80,74	339,78

Kuvio 22: Hiilen spot-hinta

Myös hiilen hinnassa on suuria vaihteluja, joskaan se ei ole kausittaista kuten vesivarantojen ja kysynnän tapauksessa.

Vesivarantojen kokonaismäärän poikkeama mediaanista on valmiiksi ilmaistu prosenteissa, kaikki muut muuttujat logaritmoidaan ja lasketaan erotus keskiarvoihin. Taulukossa 7 on esitetty näiden poikkeamien keskilukuja.

	ResD	LnInfD	LnConsD	LnSpotCoalD
Otoskoko	468	156	468	128
Keskiarvo	-1,65 %	-4,66 %	-0,07 %	-9,99 %
Mediaani	0,35 %	-1,46 %	-0,22 %	-25,57 %
Keskihajonta	9,18 %	31,01 %	3,68 %	43,88 %
Minimi	-23,06 %	-88,86 %	-8,93 %	-64,32 %
Maksimi	15,45 %	58,87 %	9,38 %	79,38 %

Taulukko 7: Poikkeamien keskilukuja.

## 7.2 Riskipreemio olemassaolo

T-testi on keskiarvotesti, jolla testataan onko testattava, tässä tapauksessa riskipreemio, keskimäärin nolla. Mikäli t-testin arvo asettuu t-jakauman luottamusvälille, voidaan sanoa että keskiarvopoikkeama ei ole tilastollisesti merkitsevä ja nollahypoteesi ”on keskimäärin nolla” hyväksytään. Mikäli testin arvo kuitenkin osuu luottamusvälin ulkopuolelle, nollahypoteesi hylätään, vaihtoehtoinen hypoteesi hyväksytään ja todetaan että muuttuja sisältää jotain nolasta poikkeavaa arvoa tai informaatiota.

Ensimmäisessä mallinnuksessa testataan T-testillä, esiintyykö Nord Pool-sähköpörssissä noteerautuilla sähkön viikkofutuureilla tilastollisesti merkitsevää riskipreemiota. Riskipreemio lasketaan futuurihinnoittelukappaleen mukaisesti:

$$RP_{t,T} = \ln(S_{t+T} / F_{t,T})$$

Riskipreemiossa spot-hinta on futuurin toimitusviikon toteutunut spot-hinta (t+T) ja futuurihinta on kaupankäyntihetken (t) hinta. Futuurin hinta on kohdistettu kyseisen futuurin maturiteetin mukaiseen kaupankäyntihintaan ajanhetkellä t=0. Eri maturiteetin riskipreemioista taulukoidaan tunnuslukuja niiden tilastollisen merkitsevyyden ja suhteellisen koon selvittämiseksi.

Kappaleen Futuurihinnoittelu mukaan riskipreemion odotetaan raaka-ainemarkkinoilla olevan yleensä positiivinen. Toisaalta Botterund & al. (jatkossa vain Botterund) toteavat sen tutkimuksessaan negatiiviseksi. Molempia suuntia voisi tutkia erikseen yksisuuntaisilla T-testeillä, mutta aluksi testataan onko tilastollisesti merkitsevää riskipreemiota ylipäättään olemassa, etumerkistä riippumatta. Tämä tehdään kaksisuuntaisen T-testin avulla, olettamalla nollahypoteeseissa riskipreemio keskimäärin nolaksi. Vaihtoehtoinen hypoteesi ehdottaa sen eroavan tilastollisesti merkitsevästi nolasta, eli että pohjoismailla sähkömarkkinoilla esiintyy joko positiivista tai negatiivista riskipreemiota. Hypoteesiksi tulee:

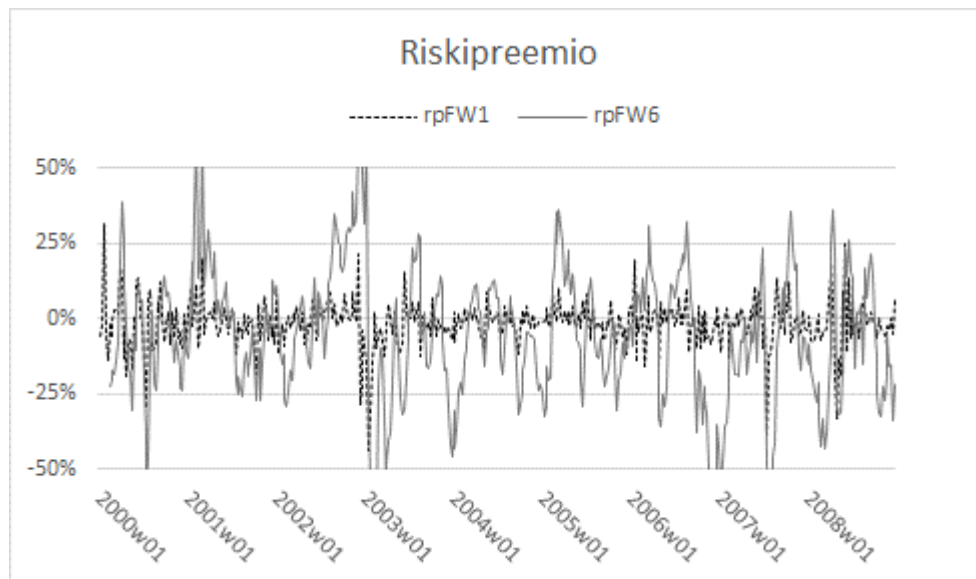
$$H_0: \overline{RP_{t,T}} = 0 \quad , \quad H_1: \overline{RP_{t,T}} \neq 0$$

Mahdollinen riskipreemion positiivisuus tai negatiivisuus selviää saatujen tulosten etumerkistä.

Riskipreemion olemassaolon testausta jatketaan jakamalla aineisto talvi- ja kesäaikaan.

### 7.2.1 Tutkimustulokset

Kuviossa 23 on kuvattu yhden ja kuuden viikon viikkofutuurin riskipreemion vaihtelua.

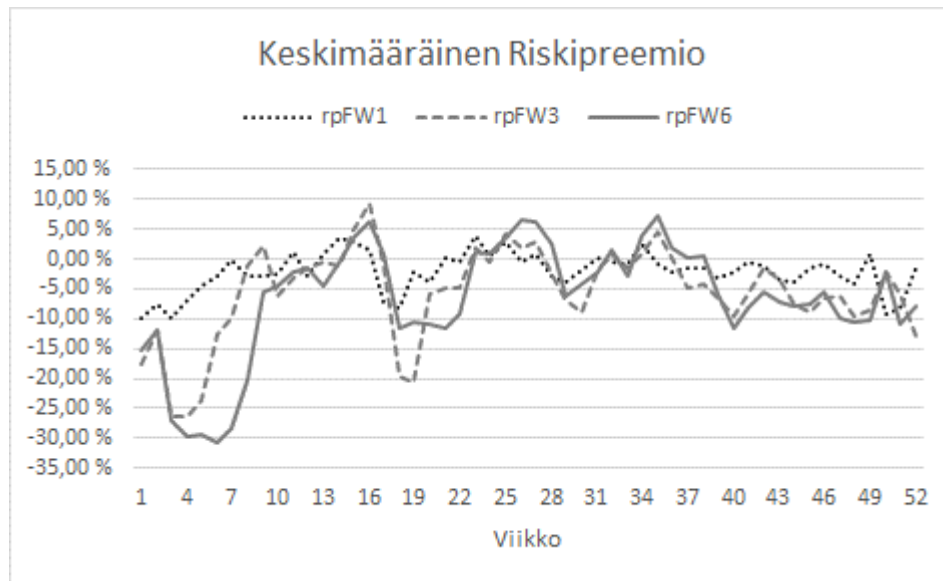


Kuvio 23: Yhden ja kuuden viikon riskipreemion vaihtelu.

Riskipreemio vaihtelee jatkuvasti positiivisesta negatiiviseen. Kuuden viikon futuurilla yli 25 % positiiviset riskipreemiot eivät ole harvinaisia, niitä esiintyy vuosittain. Saman kokoluokan negatiivisia esiintymiä on huomattavasti useammin.

Kuviossa 24 on yhden, kolmen ja kuuden viikon futuurien riskipreemiot keskiarvotettuna kalenteri-  
viikkokohtaisesti.





Kuvio 24: Yhden, kolme ja kuuden viikon futuurin kalenteriviikoittaiset riskipreemiot (2000 – 2008).

Kuviosta silmämääräisesti arvioiden, keskimääräinen riskipreemiot voisivat olla hieman negatiivisia vuoden toisella ja kolmannella neljänneksellä. Viimeisellä neljänneksellä ne ovat jo selkeästi negatiivisia ja vuoden ensimmäisellä neljänneksellä riskipreemiot saavuttavat negatiivisia huippuja. Selkeä negatiivisen riskipreemion itseisarvon kasvu osuu vuoden kylmimpään aikaan tammi- ja helmikuulle.

Taulukossa 7 on esitetty riskipreemioiden tunnuslukuja.

	rpFW1	rpFW2	rpFW3	rpFW4	rpFW5	rpFW6
Otoskoko	467	466	465	464	463	462
Keskiarvo	-1,73 %	-3,76 %	-4,91 %	-5,52 %	-5,67 %	-5,51 %
Mediaani	-1,48 %	-2,55 %	-3,53 %	-5,02 %	-5,11 %	-5,63 %
Keskihajonta	7,53 %	13,17 %	16,77 %	18,93 %	20,83 %	22,74 %
Minimi	-44,11 %	-78,66 %	-96,33 %	-100,26 %	-93,38 %	-85,22 %
Maksimi	31,34 %	42,95 %	49,59 %	55,91 %	70,13 %	84,68 %
T-arvo	-4,96	-6,16	-6,32	-6,28	-5,86	-5,21
P-arvo	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %

Taulukko 7 : Riskipreemioiden tunnuslukuja (2000 – 2008).

Riskipreemioiden keskihajonta kasvaa maturiteetin pitkittyessä. Minimi- ja maksimiarvojen vaihteluväli on yhden viikon futuurin 75 %:sta kuuden viikon futuurin 170 %:iin.

Aikaisemmin kuvioista 18 nähtiin, että spot-hintojen hintakehitys on vuoden ensimmäisellä puoliskolla laskeva ja kääntyi kesällä ollen loppuvuoden nouseva. Lisäksi kuvioista 24 voitiin silmämääräisesti arvioida, että riskipreemiot ovat kalenteriviikkokohtaisesti keskiarvotettuna, talviaikaan (1. ja 4. neljännes) keskimäärin negatiivisia. Kesäaikaan (2. ja 3. neljännes) etumerkin arviointi graafista on vaikeampaa. Taulukossa 8 on vertailtu kesä- ja talviajan riskipreemioita.

**Talviajan riskipreemio**

	rpFW1	rpFW2	rpFW3	rpFW4	rpFW5	rpFW6
Otoskoko	233	232	231	230	229	228
Keskiarvo	-2,18 %	-4,68 %	-6,49 %	-7,68 %	-8,34 %	-8,51 %
Mediaani	-2,12 %	-4,13 %	-6,76 %	-8,25 %	-10,10 %	-11,55 %
Keskihajonta	7,42 %	13,41 %	17,31 %	20,18 %	22,73 %	25,55 %
Minimi	-44,11 %	-78,66 %	-96,33 %	-100,26 %	-93,38 %	-85,22 %
Maksimi	31,34 %	42,95 %	49,59 %	55,91 %	70,13 %	84,68 %
T-arvo	-4,49	-5,31	-5,70	-5,77	-5,55	-5,03
P-arvo	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %

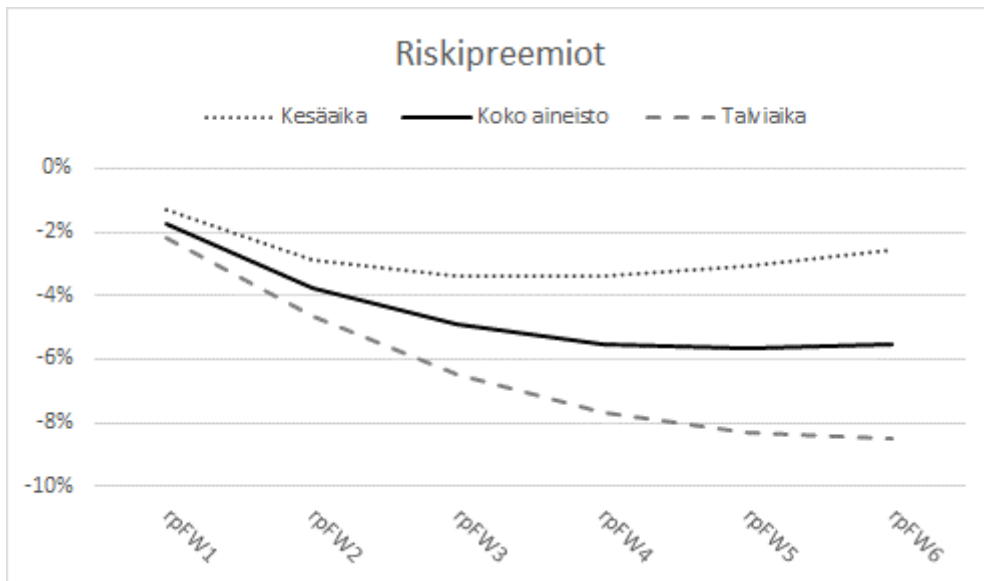
**Kesäajan riskipreemio**

	rpFW1	rpFW2	rpFW3	rpFW4	rpFW5	rpFW6
Otoskoko	234	234	234	234	234	234
Keskiarvo	-1,27 %	-2,85 %	-3,35 %	-3,39 %	-3,05 %	-2,58 %
Mediaani	-0,78 %	-0,85 %	-1,48 %	-1,30 %	-1,34 %	0,23 %
Keskihajonta	7,62 %	12,85 %	16,07 %	17,36 %	18,40 %	19,16 %
Minimi	-38,61 %	-63,74 %	-68,22 %	-67,43 %	-73,18 %	-82,37 %
Maksimi	25,16 %	42,95 %	43,56 %	55,91 %	70,13 %	84,68 %
T-arvo	-2,56	-3,39	-3,19	-2,99	-2,54	-2,06
P-arvo	1,12 %	0,08 %	0,16 %	0,31 %	1,18 %	4,05 %

Taulukko 8: Talvi- ja kesäajan riskipreemiot (2000 – 2008 viikkoaineisto).

Kaikki riskipreemiot ovat edelleen negatiivisia. Talviaikaan kaikki ovat tilastollisesti erittäin merkitseviä, kun taas kesäaikaan merkitsevyyden vaihtelu on suurempaa, kaikkien futuurien pysyessä kuitenkin merkitsevinä. Riskipreemiot ovat systemaattisesti itseisarvoltaan suurempia talviaikana. Kokuuokka kasvaa maturiteetin pidentyessä, alkaen yhden viikon futuurin hieman alle yhden prosentin eroista, päätyen kuuden viikon futuurin noin kuuden prosentin eroon.

Kuviossa 25 on yhteenvetona graafisesti keskimääräiset riskipreemiot koko aineistosta ja erikseen talvi- ja kesäajalta.



Kuvio 25: Yhteenveto riskipreemioista (2000 – 2008 viikkoaineisto).

Testattaessa korrelaatiota spot-hinnan ja futuurien hinnan välillä saadaan taulukon 9 tulokset.

	LnFW1	LnFW2	LnFW3	LnFW4	LnFW5	LnFW6
LnSpot	0,9853	0,9787	0,9701	0,9611	0,9538	0,9469

Taulukko 9 : Spot- ja futuurihintojen välinen korrelaatio 2000 – 2008.

Korrelaatio on erittäin korkea, mutta ei kuitenkaan täydellistä. Spot-hinnan noustessa, futuurihinnat nousevat hieman enemmän, jolloin negatiivisen riskipreemion itseisarvo kasvaa.

### 7.2.2 Päätelmät

Keskimääräinen riskipremio on kaikilla futuureilla negatiivinen, itseisarvon kasvaessa maturiteetin pidentyessä. T-testin P-arvon mukaisesti, kaikki riskipremiot ovat myös tilastollisesti erittäin merkitseviä. Näinollen nollahypoteesi voidaan hylätä ja todeta että pohjoismaisilla sähkömarkkinoilla esiintyy tilastollisesti merkitseviä negatiivisia riskipremioita kaikilla viikkofutuureilla.

Negatiivisen riskipremion mukaan futuurihinnat ovat korkeampia kuin toteutuneet spot-hinnat ja voidaan tulkita, että sähkön kuluttajat ovat enemmän riskinkaihtajia kuin sähkön tuottajat. Tätä voitaneen selittää sähkömarkkinoiden varastointimahdollisuuden epätasapainolla. Tuottajilla on mahdollisuus säädellä tuotantoaan vesivarantojen juoksutuksia lisäämällä tai vähentämällä mahdollisten lyhytaikaisten spot-hinnan vaihteluiden mukaan. Näinollen tuottajilla ei ole välttämättä intressiä luki sähköstä saamaansa hintaa futuureilla keskimäärin alemmaksi kuin toteutunut spot-hinta, joka tarkoittaisi positiivista riskipremiota. Koska jo valmiiksi tuotettua sähköä ei pystytä varastoimaan taloudellisesti tehokkaasti merkittäviä määriä, ei kuluttajilla vastaavaa varastoinnin tuomaa mahdollisuutta hintavaihteluun varautumiseen ole. Näinollen kuluttaja on pakotettu joko hyväksymään hintariski tai poistamaan se suojaamalla, esimerkiksi ostamalla futuureja. Tämä epätasapaino johtaa futuurien ylikysyntään, joka johtaa futuurihintojen nousuun jota myöten niiden hinta nousee toteutuvaa spot-hintaa korkeammalle joka matemaattisesti luo negatiivisen riskipremion ( $RP = \ln Spot - \ln Futuuri$ ). Tulosten perusteella voidaan päätellä, että sähkön kuluttajat ovat halukkaita maksamaan tämän premion päästäkseen eroon hintavaihtelun riskistä. Tämän premion kokoa ja sitä myöten suojauksesta aiheutuvaa hintaa kuvaa keskimääräinen negatiivinen riskipremio.

Kuvioista 18 ja 24 nähdään että sähkön spot-hinnan ollessa korkealla myös futuurien riskipremioiden itseisarvot ovat korkealla ja päinvastoin. Lisäksi löydettiin vahva korrelaatio spot-hintojen ja futuurihintojen välillä. Kun vielä kaikki riskipremiot ovat tilastollisesti merkitseviä tai erittäin merkitseviä, voitaneen päätellä, että sähkön spot-hinnan nousu johtaa pohjoismaisilla sähkömarkkinoilla negatiivisen riskipremion kasvuun ja hinnan lasku sitä myöten premioiden pienenemiseen. Lisäksi kuviosta 24 voitaneen päätellä, että sähkön kuluttajat ovat valmiita maksamaan todella korkeita riskipremioita kaikkein kylmimmän ajanjakson ajalle, taatakseen käyttöönsä hankkimansa sähkön hinnan pysymisen kuitenkin jossain kohtuudessa.

### 7.2.3 Vertailua aikaisempaan tutkimukseen

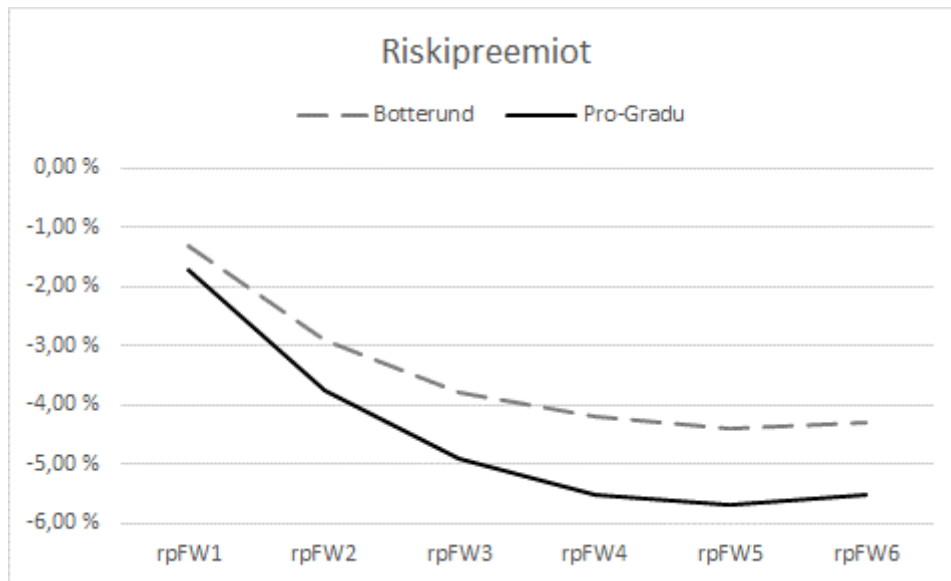
Botterund tutki artikkelissaan riskipreemioita pohjoismaisilla sähkömarkkinoilla. Tutkimusaineistona heillä oli spot- ja futuurihinnat kolmentoista vuoden periodilta alkaen vuodesta 1996 ja päättyen vuoteen 2006. Taulukossa 10 on heidän esittämänsä tulokset riskipreemion osalta. Botterund ei julkaissut erikseen T- ja P-arvoja. Taulukossa olevat arvot on laskettu julkaistujen tulosten otoskoon, keskiarvon ja keskihajonnan perusteella.

	rpFW1	rpFW2	rpFW3	rpFW4	rpFW5	rpFW6
Otoskoko	574	574	574	574	574	574
Keskiarvo	-1,30 %	-2,90 %	-3,80 %	-4,20 %	-4,40 %	-4,30 %
Mediaani						
Keskihajonta	8,10 %	13,70 %	17,40 %	19,60 %	21,50 %	23,30 %
Minimi	-43,20 %	-76,70 %	-94,90 %	-97,70 %	-90,20 %	-86,90 %
Maksimi	32,20 %	45,50 %	49,20 %	56,40 %	70,20 %	84,30 %
T-arvo	-3,85	-5,07	-5,23	-5,13	-4,90	-4,42
P-arvo	0,01 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %

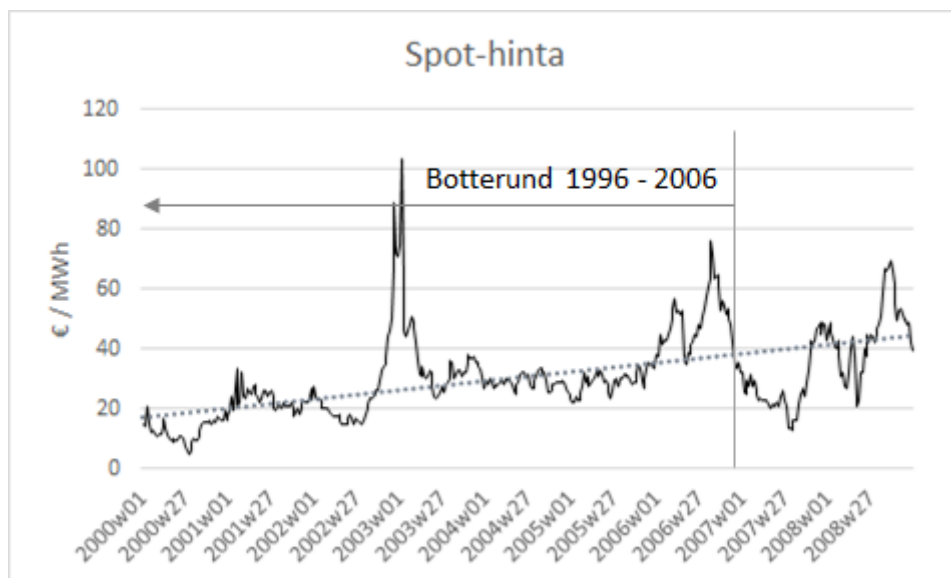
Taulukko 10 : Botterund & al. (2010) riskipreemio FW1 – FW6 (1996-2006).

Verrattaessa Botterund:n saamiin tuloksiin, tässä työssä saadut riskipreemioiden itseisarvot ovat kaikilla futuureilla itseisarvoltaan hieman suurempia, alkaen noin puolesta prosentista yhden viikon futuurilla ja päättyen hieman yli prosentin eroon kuuden viikon futuurilla. Molemmissa tutkimuksissa kaikki riskipreemiot ovat tilastollisesti erittäin merkitseviä ja etumerkiltään negatiivisia. Keskihajonta on tässä työssä kaikilla riskipreemioilla noin puoli prosenttia suurempi. Minimit ja maksimit eivät eroa olennaisesti.

Kuviossa 26 on graafisesti vertailtu saatujen riskipreemioiden tuloksia Botterund tutkimukseen. Kuviossa 27 on lisäksi kuvattu näiden kahden tutkimuksen ajoitusta saatavilla olevaan sähkön spot-hinta-aineistoon, lisättynä regressiosuoran kuvaajalla.



Kuvio 26: Botterund & al. ja Pro-Gradun riskipreemiot.



Kuvio 27: Spot-hinta 2000 – 2008

Regressiosuoran kulmakerroin on positiivinen ja spot-hinnan kehitys noudattaa samankaltaista nousvaa trendiä koko aikavälillä 1996 -2008, jolle molemmat tutkimukset ajoittuvat (Botterund 1996 - 2006, Pro-gradu 2000 – 2008). 1996 -2000 aineistot eivät ole tässä käytettävissä, mutta sama muoto voidaan nähdä Botterund:n julkaisemasta artikkelista.

Molempien tutkimusten aineistoihin sisältyviä muutamia hintapiikkejä lukuunottamatta sähkön hinta on ennen vuotta 2007 kehittynyt suhteellisen tasaisesti. Vuonna 2007 ja 2008 hintavaihtelu on ollut selkeästi suurempaa. Tämä voisi selittää puolen prosentin eron keskihajonnassa.

Aikaisemmin todettiin, että sähkön hinnan ollessa talviaikana korkealla, myös riskipreemiot ovat itseisarvoltaan suurempia kuin matalampien hintojen kesä kautena. Tutkimuksiin käytetyissä aineistoissa sähkön keskimääräinen spot-hinta on siis ollut jatkuvasti nouseva. Tämä voisi selittää eroa tutkimusten riskipreemioiden itseisarvojen suhteen.

### 7.3 Regressioanalyysi spot-hinnalle

Regressioanalyysillä arvioidaan selitettävän muuttujan lineaarista riippuvuutta selittävistä muuttujista. Yleinen regressiomalli voidaan esittää muodossa:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 * X_1 + \dots + \beta_n * X_n + u$$

jossa  $Y$  on selitettävä muuttuja,  $\beta_0$  on vakio,  $X_1$  ja  $X_n$  selittäviä muuttujia,  $\beta_1$  ja  $\beta_n$  edellisten kertoimia eli parametreja ja  $u$  virhetermi eli residuaali. Mallin parametreja estimoidaan pienimmän neliösumman menetelmällä (Ordinary Least Square) minimoimalla residuaalin neliöiden summa. OLS on kaikkein yleisimmin käytetty analyysi ekonometrisen aineiston mallinnuksessa. Tämä johtunee pitkälti sen selkeästä ja yksinkertaisesta käytöstä sekä monissa tilanteissa saavutettavasta harhattomuudesta, tarkentuvuudesta ja tehokkuudesta. Tästä syystä OLS-regressio on valittu analyysimenetelmäksi. OLS-regressiokertoimien merkitsevyyttä testataan T-testillä, jossa merkitsevyystasoina käytetään yleisesti 95 % tai 99 %:a. Tässä työssä 95 % merkitsevyystasoa kuvaillaan sanallisesti tilastollisesti merkitseväksi ja 99 % tasoa tilastollisesti erittäin merkitseväksi.

Kaikille malleille suoritetaan diagnostisia testejä, jotta saadaan käsitystä mallin hyvyydestä. Mallin merkitsevyyttä kokonaisuutena testataan kaikkien selittäjien F-testillä. Testillä testataan ovatko kaikki mallin selittäjien kertoimet samanaikaisesti nollia. Mikäli ovat, mallilla ei ole merkitsevää selitysvoimaa, eikä se ole käyttökelpoinen.

Mallin funktionmuodon lineaarisuutta Ramseyn RESET-testillä. Jotta OLS-mallinnuksella saatavat tulokset olisivat luotettavia, on testattavan mallin läpäistävä lineaarisuustesti. Testin tulkintaa vaikeuttaa se, että testi saattaa hylätä lineaarisuuden myös muista syistä, esimerkiksi mallista puuttuvien selittäjien vuoksi.

Lisäksi testataan mallin virhetermin homoskedastisuutta Whiten testillä ja autokorrelaatiota Breusch-Godfrey-testillä. Mikäli näitä esiintyy, OLS-menetelmä laskee T- ja F-testeissä käytetyn standardivirheen väärin ja kyseisten testien antamat tulokset eivät ole luotettavia. Whiten testi saattaa hylätä nollahypoteesin myös muista syistä kuin heteroskedastisuudesta johtuen, esimerkiksi mallin epälineaarisuuden tai puuttuvien muuttujien vuoksi.

Regressiomallin virhetermi sisältää kaikki mallin selittäjien ulkopuolelle jäävät tekijät. Näiden oletetaan olevan toisistaan riippumattomia ja noudattavan normaalijakaumaa. Tätä virhetermin normaalijakauman oletetusta testataan Jarque-Bera-testillä.

Testien hypoteesit on esitetty taulukossa 11.

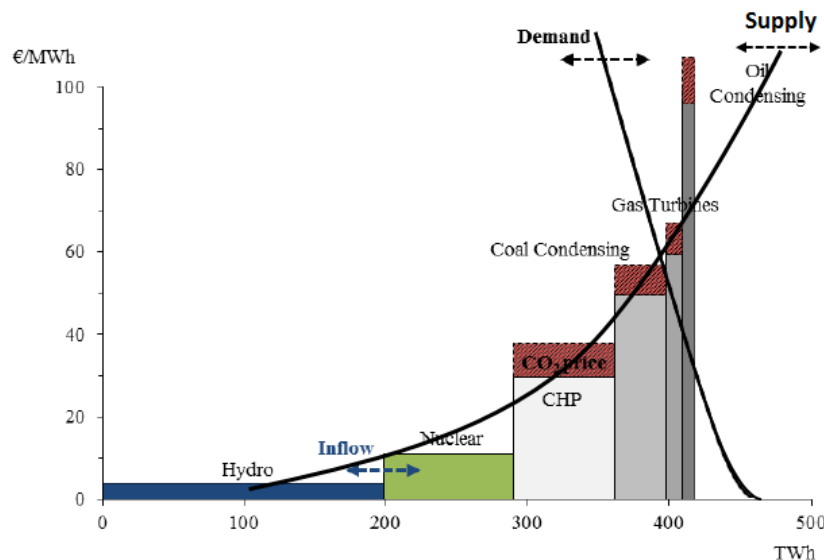
Testiaihe	Testi	Hypoteesit
Mallin merkitsevyys	F-testi	H0: Mallin kaikki kertoimet ovat nolliä H1: Mallin kaikki kertoimet eivät ole nolliä
Lineaarisuus	Ramseyn RESET	H0: Malli on lineaarinen H1: Malli on epälineaarinen
Homoskedastisuus	White	H0: Mallin virhetermi on homoskedastinen H1: Mallin virhetermi on heteroskedastinen
Autokorrelaatio	Breusch-Godfrey	H0: Mallin virhetermissä ei ole autokorrelaatiota H1: Mallin virhetermissä on autokorrelaatiota
Normaalijakauma	Jarque-Bera	H0: Mallin virhetermi on normaalijakautunut H1: Mallin virhetermi ei ole normaalijakautunut

Taulukko 11: Diagnostiset testit ja niiden hypoteesit.



### 7.3.1 Sähkön spot-hinnan selittäjien valinta

Pohjoismaisilla sähkömarkkinoilla halvimmat sähkön tuotantomuodot ovat vesivoima ja ydinvoima, seuraavaksi tulevat yhdistetty lämmön ja sähkön tuotanto (CHP = Combined Heat & Power) sekä hiililauhevoimalla tuotettu sähkö. Kuviossa 28 on sähkön kysyntä- ja tarjontakuvaajat tuotantomuodoittain.



Kuvio 28: Sähkön kysyntä- ja tarjontakuvaajat.

Lähde: (Energiamarkkinavirasto 2010)

Sähkön tuotantoa pyritään optimoimaan siten, että kysyntä ohjaa käytössä olevia tuotantomuotoja niiden kapasiteetin rajoissa. Tämä siten, että halvimalla mahdollisella tuotantomuodolla tuotetaan niin paljon sähköä kuin mahdollista ja kapasiteetin ollessa täyskäytössä tuotantoa lisätään seuraavaksi halvimalla tuotantomuodolla ja niin edelleen, aina kysynnän määrittelemään rajakustannuspisteseen eli kysynnän ja tarjonnan tasapainotilanteeseen asti.

Kysyntäpuolella selitettäväksi muuttujaksi valitaan kysynnän muutos keskiarvoon verrattuna (LnConsD). Kysynnän keskiarvo on laskettu jokaiselle kalenteriviikolle (1 -52) vuosien 2000 – 2009 vastaavien viikkojen keskiarvona.

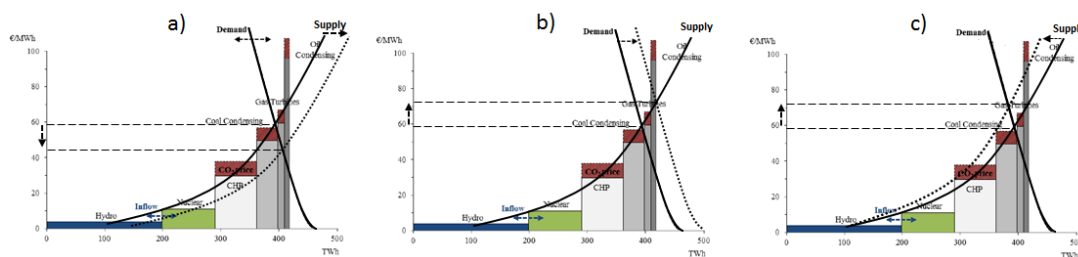
Tarjontapuolella vesivoiman osuus huomioidaan mallinnuksessa kahdella selittäjällä, vesivarantojen kokonaismäärällä ja vesivirtaustasoilla ja muut tuotantomuodot yhdellä selittäjällä, hiilen spot-hinnalla.

Vesivarantoeselittäjänä käytetään pohjoismaisten vesivarantojen kokonaismäärän viikoittaista poikkeamaa pitkäaikaiseen mediaaniin verrattuna ( $ResD_t$ ). Poikkeama esitetään prosenttiosuutena kokonaiskapasiteetista, josta syystä muuttujan arvoja käytetään sellaisenaan, ilman logaritmoitua. Tämä kokonaismäärä vaihtelee altaista ulosjuoksutettavan ja sinne sisään virtaavan veden vaihteluiden johdosta. Ulosjuoksutukset ovat vesivoimalla tuotetun sähköntuottajan kontrolloitavissa kulloisenkin tuotantotarpeen mukaan. Sen sijaan altaisiin sisään tuleva virtaus (Inflow) ei ole tuottajan kontrolloitavissa vaan riippuu pääsääntöisesti luonnonilmiöiden vaihteluista, sademääristä ja lumien sulamisvesimääristä. Näinollen toiseksi vesivoimasselittäjäksi on valittu vesivirtaaman viikoittainen poikkeama vuosien 2006 – 2008 kalenteriviikkokohtaiseen keskiarvoon ( $LnInfD_t$ ), 156 tilastoyksikköä.

Ydinvoimatuotantoa ei mallinnuksessa huomioida, koska aineistoa ei ole saatavilla. Toisaalta ydinvoimatuotannon huomiotta jättäminen viikkojen ja kuukausien aikajaksolla tapahtuvasta mallinnuksesta ei vääristäne analyysiä huomattavasti. Tämä siksi, että laitosten suurista ylös- ja alasajokustannuksista johtuen, ydinvoimaloissa tuotantoa ei säädellä kysynnän lyhytaikaisten vaihteluiden mukaan, vaan se pyritään pitämään mahdollisimman tasaisena. Lisäksi ydinpolttoaineen varastoinnissa huomioidaan tarpeet vuosiksi, jollei vuosikymmeniksi, joten vaikutukset viikkotasolla ovat olemattomat.

CHP ja hiilivoimalat käyttävät pääraaka-aineenaan kivihiiltä. Tästä syystä malliin lisätään selittäväksi muuttujaksi hiilen spot-hinnan poikkeama aineiston keskiarvoon ( $LnSpotCoalD_t$ ). Tämä voidaan mieltää myös proxy-muuttujaksi, joka edustaa samalla kaikkia kalliimpia tuotantomuotoja. Hiilen hintatiedot ovat käytettävissä vuoden 2006 viikolta 29 vuoden 2008 loppuun, 128 tilastoyksikköä. Tämä rajoittaa myös testattavat analyysit tälle ajanjaksolle. Kalenteriviikkokohtaista keskiarvotusta ei tehty, koska osalle viikoista olisi tulot vain kaksi arvoa. Hiilen hinnan arvoina käytetään näinollen logaritmoitua tonnihintoja.

Selittäjien muutoksien odotettuja vaikutuksia sähkön hintaan on arvioitu kuvioiden 29 a), b) ja c) avulla.



Kuvio 29: Sähkön hinnan selittäjien muutoksien vaikutus spot-hintaan.

Kuvion 29a) mukaisesti, kokonaisvesivarantojen ja/tai vesivirtaustasojen lisääntyessä, yhä suurempi osuus sähkön kokonaistuotannosta tuotetaan halvimalla mahdollisella tuotantomuodolla eli vesivoimalla. Tämä aiheuttaa sähkömarkkinoilla ylitarjontaa suhteessa kysyntään. Sähkön tarjontakäyrä siirtyy oikealle ja samalla kysynnän ja tarjonnan tasapainopiste siirtyy alaspäin, alentaen sähkön spot-hintaa. Vastaavasti vesivarantojen/-virtausten pienentyessä, markkinoille syntyy ylikysyntätilanne. Tarjontakäyrä siirtyy vasemmalle, tasapainopiste nousee ylöspäin ja sitä myöten sähkön spot-hinta nousee. Vesivarantojen/-virtauksen muutoksilla odotetaan siis olevan negatiivinen korrelaatio sähkön spot-hintaan.

Kuviossa 29b), sähkön kokonaiskysynnän lisääntyessä ja siten ylittäessä tarjonnan, syntyy ylikysyntää. Kysyntäkäyrä siirtyy oikealle, tasapainopiste nousee ylöspäin, aiheuttaen sähkön spot-hinnan nousun. Kuviossa 29c), hiilen hinnan noustessa, tarjontakäyrän kulmakerroin kasvaa hiilellä tuotetun sähkön osalta. Lisääntyneiden tuotantokustannusten muutos siirtyy sähkön spot-hintaan, kaikkien tuottajien nostaessa ulosmyyntihintojaan. Molemmissa tapauksissa muutos toiseen suuntaan laskee sähkön spot-hintaa. Sekä sähkön kulutuskysynnän että hiilen hinnan muutoksilla odotetaan olevan positiivinen korrelaatio sähkön spot-hintaan.

### 7.3.2 Sähkön spot-hinnan regressioyhtälö

Edellisen kappaleen perusteella, sähkön spot-hintaa lähdetään mallintamaan regressioyhtälöllä:

$$\text{LnSpotSähköt} = \beta_0 + \beta_1 * \text{ResD}_t + \beta_2 * \text{LnInfD}_t + \beta_3 * \text{LnConsD}_t + \beta_4 * \text{LnSpotCoalD}_t + u$$

Alustavissa mallinnuksen jälkeisissä diagnostisissa testeissä mallin virhetermi osoittautuu kuitenkin vahvasti autokorreloituneeksi sekä heteroskedastiseksi. Molempia ongelmia pystytään osittain korjaamaan käyttämällä regressioanalyysin tulkinnoissa Newey-West:n HACSE-keskivirheitä (Heteroskedasticity and Autocorrelation Consistent Standard Errors). Sekä autokorrelaatio, että heteroskedastisuus ovat kuitenkin niin vahvoja, että katsottiin tarkoituksenmukaiseksi muokata mallin spesifiointia. Molemmista ongelmista pyritään luonnollisesti kokonaan eroon, mutta vähimmäistavoitteena on pienentää niitä tasoille, jolloin HACSE-keskivirheet riittäisivät kompensoimaan jäljelle jääviä ongelmatasoja.

Lisäongelmia mallin spesifiointiin tuo aineiston rajallisuus. Spot- ja futuurihinnoista sekä vesivarantojen kokonaistasoista ja kulutuskysynnästä on käytettävissä pitkät aikasarjat yhdeksältä vuodelta, 468 periodia. Mutta hiilen spot-hinnasta aineistossa on käytettävissä ainoastaan 128 periodia, joka on siis rajoite mallinnettavalla aikajaksolle.

Alustavissa testeissä esiintynyttä erittäin vahvaa autokorrelaatio-ongelmaa pyrittiin selvittämään testaamalla sähkön spot-hintaa ensin ainoastaan pitkillä aikasarjoilla, jolloin selittävinä muuttujina oli ainoastaan kokonaisvesivaranto ja kulutuskysyntä, sekä tämän lisäksi jokaiselle kalenteriviikolle luotu oma dummy-viikkomuuttuja.

$$\text{LnSpotSähkö}_t = \beta_0 + \beta_1 * \text{ResD}_t + \beta_2 * \text{LnConsD}_t + \beta_3 * W_2 + \beta_4 * W_4 + \dots + \beta_{53} * W_{52} + u$$

Breusch-Gofrey-testi osoitti mallin virhetermille vahvaa autokorrelaatiota. Kun edelliseen malliin lisättiin selittäväksi muuttujaksi sähkön spot-hinnan yhdellä periodilla viivästetty arvo, testin mukainen autokorrelaation testisuure tuli tilastollisesti ei-merkitseväksi. Tästä pääteltiin, että pitkässä aikasarjassa viivästetty muuttuja korjaa ainakin autokorrelaatio-ongelmaa ja näinollen alkuperäiseen malliin lisättiin tämä selittäjä.

Tämän lisäksi testattiin mallia, jossa lisättiin vielä edelliseen sähkön spot-hinnan 52 periodilla viivästetty muuttuja. Tämä tarkoituksena oli puhdistaa mallia mahdollisista kausivaihtelun aiheuttamista vääristymistä, ottaen viikkoaineistossa huomioon edellisen vuoden viikkoarvo. Loppujen lopuksi testattavasta mallista jätettiin kuitenkin tämä muuttuja pois ja lisämuuttujaksi valittiin ainoastaan yhden periodin viivästetty arvo. Tämä siksi, että valitulla mallilla oli hieman pienemmät testisuureet sekä autokorrelaatio-, että heteroskedastisuustesteissä. Lisäksi malli oli näin yksinkertaisempi. Lopulliseksi regressioyhtälöksi valittiin:

$$\text{LnSpotSähkö}_t = \beta_0 + \beta_1 * \text{ResD}_t + \beta_2 * \text{LnInfD}_t + \beta_3 * \text{LnConsD}_t + \beta_4 * \text{LnSpotCoalD}_t + \beta_5 * \text{LnSpot}_{t-1} + u$$

### 7.3.3 Tutkimustulokset ja päätelmät

Taulukossa 12 on esitelty sähkön spot-hinnan mallinnuksen regressiotulokset, korrelaatiokertoimet sekä diagnostiset testitulokset.

Regressiomalli	Constant	ResD	LnInfD	LnConsD	LnSpotCoalD	LnSpot_1	Korj. R <sup>2</sup>
Coefficient	0,6401	-0,7731	-0,1220	0,6908	0,1258	0,8243	
t-HACSE	4,2600	-4,5200	-2,9800	1,7400	3,1000	20,5000	0,9450
t-prob	0,0000	0,0000	0,0035	0,0841	0,0024	0,0000	
Diagnostiset testit	F-testisuure	f-prob					
Mallin F-testi	437,7	[0,000]					
Autokorrelaatio	2,72	[0,0120]					
Normaalijakauma	34,725	**[0,0000]					
Homoskedastisuus	0,5215	[0,9520]					
Lineaarisuus	0,52054	[0,5955]					

Taulukko 12: Sähkön spot-hinnan selittäjät ja diagnostiset testit.

Vesivarantojen kokonaismäärän ja vesivirtaustasojen kertoimet ovat negatiivisia ja siten käänteisesti korreloituneet sähkön hintaan. Tulos on odotusten mukainen, koska tämän mukaan varantojen ja siihen vaikuttavan vesivirtauksen lasku aiheuttaa hinnan nousua ja päinvastoin. Myös sähkön kulutuskysynnän ja hiilen hinnan tulokset ovat odotusten mukaisia, kertoimet ovat positiiviset ja korreloivat suoraan sähkön hinnan kanssa.

Sähkön kulutuskysynnän merkitsevyys tulee hylätyksi, mikäli pidetään tiukasti kiinni 5 % merkitsevyysasteesta. Jos siitä hieman joustetaan, sekin voidaan hyväksyä 8,4 % riskillä. Kaikki muut selittäjät ovat erittäin merkitseviä.

Seuraavat tulkinnat on tehty olettaen yhden keskihajonnan poikkeama verrattuna keskimääräiseen tasoon. Niissä on käytetty taulukossa 7 olevia poikkeamamuuttujien keskihajontoja kertomalla nämä regressiokertoimilla. Vesivarantojen poikkeama alaspäin nostaa sähkön spot-hintaa noin 7,1 % ja virtauspoikkeaman vastaava muutos nostaa sitä noin 3,7 %. Kulutuskysynnän poikkeama ylöspäin nostaa sähkön hintaa 2,5 % ja hiilen hinnan vastaava muutos nostaa hintaa 5,5 %.

Mallin lineaarisuus, virhetermin autokorreloimattomuus ja homoskedastisuus (H0-hypoteesit) hyväksytään. Koko mallin F-testin H0-hypoteesi hylätään ja sitä myöten malli on kokonaisuutena erittäin merkitsevä. Mallin selityssaste on 94,5 %.

Mallin spesifiointia muokatessa saatiin homoskedastisuus- ja autokorrelaatio-ongelmat korjattua hyväksyttävälle tasolle, mutta samalla menetettiin mallin normaalijakauman oletus. Tulosten perusteella malli ei ole normaalijakautunut, joka aiheuttaa ongelmia tulosten hyväksyttävyydestä. Mikäli käytössä olisi aineistoa pidemmältä aikajaksolta, tuloksia voitaisiin normaalijakauman osalta puolustaa asymptoottisuudella, mutta saatavilla olevalla otoskoolla näin ei välttämättä voida tehdä.

Botterund ei tutkimuksessaan mallintanut sähkön spot-hintaa, joten vastaavaa vertailukohtaa kuin riskipreemion olemassaolosta ei ole tässä käytettävissä.

## 7.4 Regressioanalyysi riskipreemioille

Riskipreemioita lähdettiin mallintamaan vastaavilla selittäjillä kuin spot-hintaa. Regressioanalyysiksi tuli

$$rpFW_{t,T} = \beta_0 + \beta_1 * ResD_t + \beta_2 * LnInfD_t + \beta_3 * LnConsD_t + \beta_4 * LnSpotCoalD_t + \beta_5 * rpFW_{t-1,T} + u$$

jossa  $rpFW_{t,T}$  on eri futuurien riskipreemio, T:n ollessa 1 – 6 viikkoa.  $rpFW_{t-1,T}$  on vastaavasti mallinnettavien riskipreemioiden yhdellä periodilla viivästetty arvo. Taulukossa 13 on saadut tulokset.

	Regressiomalli	Constant	ResD	LnInfD	LnConsD	LnSpotCoalD	rpFW_1	Korj. R <sup>2</sup>
rpFW1	Coefficient	-0,0169	-0,0181	-0,0377	0,1943	0,0029	0,1306	0,0244
	t-HACSE	-2,5700	-0,2500	-1,4200	0,8090	0,1350	0,7790	
	t-prob	0,0114	0,8027	0,1581	0,4200	0,8927	0,4376	
rpFW2	Coefficient	-0,0339	-0,0520	-0,1028	0,8243	-0,0055	0,4450	0,3815
	t-HACSE	-3,2500	-0,4500	-2,8100	2,2200	-0,1970	7,0800	
	t-prob	0,0015	0,6533	0,0057	0,0283	0,8442	0,0000	
rpFW3	Coefficient	-0,0404	-0,0593	-0,1552	0,9586	0,0058	0,5322	0,5117
	t-HACSE	-2,9700	-0,4080	-3,6400	2,3000	0,1760	8,6100	
	t-prob	0,0036	0,6840	0,0004	0,0230	0,8605	0,0000	
rpFW4	Coefficient	-0,0360	-0,0783	-0,1340	0,8882	0,0132	0,6529	0,6350
	t-HACSE	-2,7900	-0,5840	-2,9100	2,1500	0,4110	12,8000	
	t-prob	0,0061	0,5603	0,0043	0,0332	0,6818	0,0000	
rpFW5	Coefficient	-0,0360	-0,1053	-0,1182	1,0327	0,0164	0,6937	0,6949
	t-HACSE	-2,7200	-0,6900	-2,5400	2,3600	0,4900	16,6000	
	t-prob	0,0075	0,4916	0,0122	0,0197	0,6250	0,0000	
rpFW6	Coefficient	-0,0377	-0,1195	-0,1161	1,1003	0,0227	0,7175	0,7467
	t-HACSE	-2,7600	-0,7360	-2,6100	2,6100	0,6890	15,0000	
	t-prob	0,0066	0,4633	0,0103	0,0102	0,4920	0,0000	

Diagnostiset testit	rpFW1		rpFW2		rpFW3	
	F-testisuure	f-prob	F-testisuure	f-prob	F-testisuure	f-prob
Mallin F-testi	1,636	[0,155]	16,67	** [0,000]	27,61	** [0,000]
Autokorrelaatio	5,3978	**[0,0000]	3,6505	**[0,0014]	4,7845	**[0,0001]
Normaalijakauma	54,156	**[0,0000]	26,187	**[0,0000]	14,934	**[0,0006]
Homoskedastisuus	1,0349	[0,4292]	0,42599	[0,9843]	0,95491	[0,5213]
Lineaarisuus	1,6376	[0,1988]	0,20382	[0,8159]	0,33022	[0,7194]

	rpFW4		rpFW5		rpFW6	
	F-testisuure	f-prob	F-testisuure	f-prob	F-testisuure	f-prob
Mallin F-testi	45,18	** [0,000]	58,86	** [0,000]	75,87	** [0,000]
Autokorrelaatio	5,8972	**[0,0000]	4,6705	**[0,0001]	2,7795	*[0,0105]
Normaalijakauma	17,442	**[0,0002]	15,332	**[0,0005]	18,214	**[0,0001]
Homoskedastisuus	0,90845	[0,5774]	1,08	[0,3810]	1,0207	[0,4450]
Lineaarisuus	0,08002	[0,9231]	0,41273	[0,6628]	0,55409	[0,5761]

Taulukko 13: Riskipreemioiden selittäjät ja diagnostiset testit.

Selittäjien kertoimien etumerkit ovat vastaavat kuin spot-hinnan mallinnuksessa. Vesivarantojen kokonaismäärän ja vesivirtaustasojen kertoimet ovat myös negatiivisia ja sähkön kulutuskysynnän ja hiilen hinnan kertoimet positiivisia.

Vesivarantojen kokonaismäärän ja hiilen spot-hinnan poikkeamien kertoimet eivät kuitenkaan ole millään riskipreemiolla merkitseviä. Yhden viikon futuurin riskipreemiota lukuunottamatta, vesivirtaustasojen ja sähkön kulutuskysynnän poikkeamat ovat tulosten mukaan merkitseviä. Mallin selitysaste kasvaa systemaattisesti pidempien futuurien riskipreemioita mallinnettaessa, ollen korkeimmillään kuuden viikon futuurin riskipreemiolla noin 75 %.

Yhden viikon futuurin riskipreemiota lukuunottamatta, koko mallin F-testi pitää pidemmille futuureille mallia erittäin merkitsevänä. Mallin homoskedastisuus ja lineaarisuus oletukset hyväksytään, mutta autokorrelaattomuus hypoteesi hylätään kaikilla riskipreemioilla.

Autokorrelaatio-ongelmaa sekä vesivarantojen kokonaismäärän ja hiilen spot-hinnan poikkeamien ei-merkitsevyyttä pyrittiin korjaamaan muokkaamalla selittäjien aineistoa usealla eri tavalla. Näihin ongelmiin ei löydetty ratkaisua ja raportoidut tulokset olivat parhaimmat mihin päädyttiin. Tästä sekä normaalijakaumaoletuksen hylkäyksestä johtuen, mallin selityskykyä ei voida pitää luotettavana, eikä siitä tehdä tulkintoja.

#### 7.4.1 Vertailua aikaisempaan tutkimukseen

Käytettävissä olevasta aineistosta johtuen mallinnusta ei pystytty toistamaan vastaavasti kuin Botterund-tutkimuksessa, joten tulosten vertailua ei voida tehdä yksityiskohtaisesti. Lisäksi Botterund raportoi tulokset ainoastaan yhden ja kuuden viikon riskipreemioille, joten vertailua muihin ei voida tehdä.

Vertailtaessa käytettyjen selittäjien etumerkkejä, ne vastaavat toisiaan. Vesivarantojen kokonaismäärän ja vesivirtaustasojen kertoimet ovat molemmissa mallinuksissa negatiivisia ja sähkön kulutuskysynnän kertoimet positiivisia. Vesivarantojen kokonaismäärä osoittautui Botterund-tutkimuksessa erittäin merkitseväksi, kun se näissä tuloksissa oli ei-merkitsevä. Vesivirtaustasojen ja sähkön kulutuskysynnän kertoimet ovat molemmissa tutkimuksissa erittäin merkitseviä kuuden viikon futuurin riskipreemioilla. Yhden viikon futuurilla Botterund sai vastaavat kertoimet erittäin merkitseviksi, mutta tässä tulokset olivat ei-merkitseviä.

#### 7.5 OLS-kritiikkiä

OLS-regressioanalyysin käytöstä on esitetty useasti kritiikkiä. Esimerkiksi Weron & Zator (Weron & Zator 2014) kritisoiivat, että aikaisemmin mainitut OLS-regression hyvät ominaisuudet toteutuvat useimmiten ainoastaan kontrolloiduista koetilanteista saatavan aineiston yhteydessä. Yhteiskuntatieteissä yleensäkin ja tässä tapauksessa pohjoismaisilta sähkömarkkinoilta saatavan aineiston tapauksessa nämä oletukset eivät toteudu. Weron & Zator nimeävät kolme perussyötä, minkä vuoksi OLS-regressio ei välttämättä ole sovelias mallinnustapa sähkömarkkinoilla. Kritiikissään he käyttävät esimerkkinä Botterund & al. tutkimusta (Botterud ym. 2010), jossa pohjoismaisia sähkömarkkinoita on mallinnettu nimenomaan OLS-regressiolla. Ensimmäisenä ongelmana he mainitsevat simultaanisuusharhan, joka heidän mukaansa jo yksistään estää OLS-regressiolla saatujen tulosten luotettavuuden. Botterund on mallissaan selittänyt riskipreemiota ja convenience yield:ä mm. sähkön spot-hinnalla. Spot-hinnan endogeenisuus selittävänä tekijänä aiheuttaa ongelmia siksi että spot- ja futuurimarkkinat ovat vahvasti korreloituneet. Toinen merkittävä ongelma ovat korreloituneet mittausrvirheet. Mikäli korrelaatio on riittävän suuri, se saattaa aiheuttaa merkittäviä eroja mallinnuksella saatavien regressiokertoimien ja todellisen tilanteen välillä. Tämä nousee Weron & Zator mukaan ongelmaksi Botterund-artikkelissa, etenkin tavassa jolla riskipremio on määritelty. Kolmas merkittävä ongelma, jonka Weron & Zator nostavat esiin on kausivaihtelu. Ollakseen luotettava mallin tulisi olla stationaarinen. Eli riippumatta viiveistä, joilla aikasarajaa tarkastellaan, sarjan havaintojen jakauman



tulisi pysyä suunnilleen vakiona. Sähkömarkkinoilla tämä vaatimus ei toteudu vaan päinvastoin markkinoilla esiintyy selvästi havaittavaa kausivaihtelua, joka siis estää luotettavien tulosten saamisen perinteisellä OLS-regressioanalyysillä. OLS-regression sopimattomuus sähkömarkkinoiden mallintamiseen onkin syy, jota Weron & Zator käyttävät selittämään Botterund:n saamia tuloksia jotka poikkeavat merkittävästi muista raaka-ainemarkkinoita tutkineista analyyseistä. Erityisesti vesivarantojen suhde riskipreemioon on kritiikin kohteena. Botterund on tutkimuksessaan saanut vesivarannoille negatiivisen regressiokertoimen, mikä on käänteinen verrattuna talousteoriaan ja aikaisempiin tutkimuksiin. Mm. tätä poikkeavuutta Weron & Zator selittävät OLS-regressiomallinnuksen sopimattomuudella tällaiseen tutkimukseen. Ratkaisuna ongelmaan he tarjoavat GARCH-mallinnusta (Bollerslev 1986), joka heidän mukaansa toimii paremmin pohjoismaisten sähkömarkkinoiden kaltaisessa ympäristössä. GARCH-mallinnusta käytettäessä mm. vesivarantojen suhde riskipreemioon selittävänä tekijänä on positiivinen, joka tuloksena on talousteorian ja aikaisempien tutkimusten mukainen, mutta käänteinen Botterund tutkimukseen.

Tässä työssä GARCH-mallinnusta ei ole lähdetty toteuttamaan Weron & Zator tutkimuksen mukaisesti. Tämä siitä syystä, että käytettävissä olevasta aineistosta ei vastaavia muuttujia ole mahdollista saada. Näitä ovat mm. aineiston varianssi ja vinous, jotka on Weron & Zator tutkimuksessa laskettu viikoittaisista 162 tunnin tuntiaineistosta. Mikäli nämä olisivat käytettävissä, ne saattaisivat osittain selittää mallinnuksessa esiintyneitä autokorrelaatio- ja normaalijakaumaongelmia.

## **8 Yhteenveto**

Kuten johdannossa mainituista esimerkeistä käy ilmi, sähkön hinta sähkömarkkinoilla on erittäin volatiili. Lisäesimerkkinä mainittakoon tätä työtä kirjoitettaessa tapahtunut sähkön tukkuhinnan pudotus yhden päivän aikana pohjoismaisilla sähkömarkkinoilla. Maanantaina 29.12.2014 NordPool-sähköpörssissä yhden megawattitunnin toimitushinta seuraavalle päivälle oli 42,91 euroa. Tiistaina tämä hinta putosi 31,35 euroon, joten pudotusta ainoastaan yhden päivän aikana oli 11,56 euroa eli noin 27 %. Näin suuret hintavaihtelut aiheuttavat markkinatoimijoille välttämättömän tarpeen suojautua hintariskin osalta oli kyse sitten sähkön myyjistä tai ostajista.

Suojautumistapoja on markkinoilla tarjolla runsaasti ja niistä pystytään rakentamaan lukemattomia erilaisia strategioita kunkin markkinatoimijan tarpeiden ja riskinhallintamenetelmien mukaisesti. Yleisimmin käytetyt menetelmät löytyvät kuitenkin sähkön johdannaismarkkinoilta ja siellä erityisen paljon käytettyjä markkinainstrumentteja ovat erilaiset sähköoptiot ja futuurit.

Työn empiirisessä osiossa tutkittiin lyhyen tähtäimen, yhdestä kuuteen viikkoon toimitusajoilla olevia sähköfutuureja ja niiden toteutuneita riskipreemioita yhdeksän vuoden ajalta, vuosilta 2000 – 2008. Tutkimustulokset osoittivat, että keskimääräinen riskipremio on kaikilla futuureilla negatiivinen, itseisarvon kasvaessa maturiteetin pidentyessä. Näinollen voitiin todeta että pohjoismaisilla sähkömarkkinoilla esiintyy tilastollisesti merkitseviä negatiivisia riskipreemioita kaikilla viikkofutuureilla. Riskipreemion negatiivisesta etumerkistä voitiin päätellä, että sähkön kuluttajat ovat enemmän riskinkaihtajia kuin sähkön tuottajat ja he ovat valmiita maksamaan premion hintavaihtelun riskin eliminomiseksi. Tämä premio kuvaa samalla lyhyillä futuureilla toteutetun suojauksen keskimääräistä kustannusta ja oli kokoluokaltaan kahdesta kuuteen prosenttia, kustannuksen kasvaessa suojauksen aikaikkunan pidentyessä. Lisäksi todettiin että kustannuksissa oli merkittäviä eroja kun niitä tarkasteltiin erikseen kesä- ja talviaikana. Kesällä suojauskustannus vaihteli reilusta prosentista noin kahteen ja puoleen prosenttiin. Talviaikana vaihtelu oli kahdesta joka kahdeksaan ja puoleen prosenttiin, maturiteetin vaikuttaessa vastaavasti.

Lisäksi mallinnettiin sähkön hintaan vaikuttavia tekijöitä. Selittäjiksi valituiden vesivarantojen kokonaismäärän, vesivirtaustasojen, sähkön kulutuskysynnän ja hiilen hinnan todettiin käyttäytyvän kysyntä ja tarjonta tasapainon odotusten mukaisesti. Ensimmäiset kaksi vaikuttivat negatiivisesti ja jälkimmäiset kaksi positiivisesti korreloiden sähkön hintaan.

Lopuksi pyrittiin mallintamaan vastaavilla selittäjillä itse riskipremioiden käyttäytymistä. Tässä mallinnuksessa ei päästy eroon autokorrelaatio- eikä normaalijakaumaongelmista eikä tuloksia voida pitää välttämättä luotettavina.

## 9 Lähteet

- Adam TR & Fernando CS. 2006. Hedging, speculation, and shareholder value. *Journal of Financial Economics* 81, 283-309.
- Bessembinder H & Lemmon ML. 2002. Equilibrium Pricing and Optimal Hedging in Electricity Forward Markets. *Journal of Finance* 57, 1347.
- Black F & Myron Scholes. 1973. The Pricing of Options and Corporate Liabilities. *Journal of Political Economy* 81, 637-654.
- Bollerslev T. 1986. Generalized autoregressive conditional heteroskedasticity. *Journal of Econometrics* 31, 307-327.
- Botterud A, Kristiansen T & Ilic MD. 2010. The relationship between spot and futures prices in the Nord Pool electricity market. *Energy Economics* 32, 967-978.
- Byström HNE. 2003. The hedging performance of electricity futures on the Nordic power exchange. *Applied Economics* 35, 1.
- Cao M & Wei J. 2004. Weather derivatives valuation and market price of weather risk. *Journal of Futures Markets* 24, 1065-1089.
- Caporin M, Pres J & Torro H. 2012. Model based Monte Carlo pricing of energy and temperature Quanto options. *Energy Economics* 34, 1700-1712.
- Deng SJ & Oren SS. 2006. Electricity derivatives and risk management. *Energy* 31, 940-953.
- ECB. 2014. European Central Bank, Euro foreign exchange reference rates, <http://sdw.ecb.europa.eu/browseSelection.do?DATASET=0&sfl1=4&FREQ=D&sfl3=4&CURRENCY=USD&node=2018794>. 22.8.2014.
- Energiamarkkinavirasto. 2010. Nordic electricity peak prices during the winter 2009-2010. Gaia Consulting Oy, Helsinki.
- Engle RF. 1982. Autoregressive Conditional Heteroscedasticity with Estimates of the Variance of United Kingdom Inflation. *Econometrica* 50, 987-1007.

- Eydeland A. 2008. *Energy and power risk management : new developments in modelings, pricing, and hedging*. John Wiley & Sons.
- Fingrid. 2014. Fingrid. <http://www.fingrid.fi/fi/Sivut/default.aspx>.
- Huisman R & Kilic M. 2012. Electricity Futures Prices: Indirect Storability, Expectations, and Risk Premiums. *Energy Economics* 34, 892-898.
- Hull JC. cop. 2009. *Options, futures, and other derivatives*. 7. ed. Edition. Pearson/Prentice Hall. Upper Saddle River (N.J.).
- Keskikallio & Lindholm. 2003. The Nordic Electric Power Market: A Study of the Market Characteristics, Price Factors and the Competitive Environment of the Nordic Power Market. Ministry of Trade and Industry, Studies and Reports, 11/2003, Energy Department.
- Kristiansen T. 2012. Forecasting Nord Pool day-ahead prices with an autoregressive model. *Energy Policy* 49, 328-332.
- NasdaqOMX. 2014. Nasdaq OMX Commodities. <http://www.nasdaqomx.com/commodities/>.
- NordPoolSpot. 2014. NordPoolSpot. <http://www.nordpoolspot.com/>.
- Oum Y, Oren S & Deng S. 2005. Volumetric hedging in electricity procurement. 1-6.
- Pindyck RS. 2001. The Dynamics of Commodity Spot and Futures Markets: A Primer. *Energy Journal* 22, 1.
- Pirrong C & Jermakyan M. 2008. The price of power: The valuation of power and weather derivatives. *Journal of Banking & Finance* 32, 2520-2529.
- Sanda GE, Olsen ET & Fleten S. 2013. Selective hedging in hydro-based electricity companies. *Energy Economics* 40, 326-338.
- Simkins BJ & Simkins RE. cop. 2013. *Energy finance : analysis and valuation, risk management, and the future of energy*. Wiley. Hoboken (N.J.).
- Stulz RM. 1996. Does the cost of capital differ across countries? An agency perspective. *European Financial Management* 2, 11.

Weron R & Zator M. 2014. Revisiting the relationship between spot and futures prices in the Nord Pool electricity market. *Energy Economics* 44, 178-190.

Woo C, Karimov RI & Horowitz I. 2004. Managing electricity procurement cost and risk by a local distribution company. *Energy Policy* 32, 635-645.